

# **UNIVERSIDAD INCA GARCILASO DE LA VEGA**



## **FACULTAD DE CIENCIAS FARMACÉUTICAS Y BIOQUÍMICA**

### **“FOTOCATALISIS HOMOGÉNEA EN EL COLORANTE AMARILLO OCASO (SIN 110) PARA LA PROTECCIÓN DE LAS ALGAS PARDAS (*Macrocystis pyrifera*) DEL MAR”**

**Tesis para optar el Título Profesional de Químico Farmacéutico y  
Bioquímico**

**TESISTAS: VILLALVA CANCHUMANTA VANESSA SOLEDAD  
HOYOS TAPIA ENA MARUJA**

**ASESOR: Mg. CARLOS CANO PÉREZ**

**Lima – Perú**

**2018**

## ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria

Agradecimientos

Índice de tablas

Índice de figuras

Índice de anexos

Resumen

Abstract

Introducción

### **CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN ..... 2**

#### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....2**

##### **1.1.1 Descripción de la realidad problemática .....2**

#### **1.2 Problemas .....3**

##### **1.2.1 Problema general .....3**

##### **1.2.2 Problemas específicos .....3**

#### **1.3 Objetivos .....4**

##### **1.3.1 Objetivo general .....4**

##### **1.3.2 Objetivos específicos .....4**

#### **1.4 Justificación .....4**

#### **1.5 Limitaciones metodológicas .....5**

### **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO ..... 6**

#### **2.1 Estado del Arte .....6**

##### **2.1.1 Antecedentes nacionales .....6**

##### **2.1.2 Antecedentes extranjeros .....8**

#### **2.2 Bases teóricas y/o legales .....12**

##### **2.2.1 Algas pardas.....12**

2.2.2	Colorantes azoicos .....	16
2.3	Hipótesis .....	19
2.3.1	Hipótesis general .....	19
2.3.2	Hipótesis específicas .....	19
2.4	Definición de términos básicos .....	19
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....</b>		<b>21</b>
3.1	Tipo y Diseño de investigación .....	21
3.1.1	Tipo.....	21
3.1.2	Nivel.....	21
3.1.3	Diseño de Investigación.....	21
3.2	Población y muestra .....	21
3.3	Equipos, materiales y reactivos .....	22
3.4	Procedimientos .....	24
3.5	Procesamiento de datos.....	25
3.5.1	Técnica de procesamiento y análisis de datos .....	28
4.1	Presentación de Resultados.....	29
4.1.1	Determinación de la concentración de colorante en una bebida .....	29
4.1.2	Tratamiento de UV, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> y Tio <sub>2</sub> a la solución de colorante y cuantificación de la concentración de colorante degradado.....	31
4.1.3	Determinación de compuestos fenólicos en el alga .....	35
4.2	Discusión de resultados .....	41
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>44</b>
5.1	Conclusiones .....	44
5.2	Recomendaciones .....	44

**REFERENCIAS..... 45**

**ANEXOS ..... 50**

## **DEDICATORIA**

A mi Hijo, por ser mi mayor motivación para alcanzar mis metas, quien me impulsa a ser cada día mejor persona y mejor profesional, a mi esposo por su comprensión y apoyo incondicional.

A mis tíos Walter, José, mi madre Nélida y a mi madre Bartola, que desde lejos me motivan a seguir triunfando en la vida; y a todas las personas que pusieron su granito de arena para lograme como profesional.

**Ena Hoyos Tapia**

Mi tesis la dedico con todo mi amor y mi cariño a mis padres Nora y Jorge por su sacrificio y esfuerzo, para darme una carrera para mi futuro y por creer en mi capacidad.

A mis hermanas Sandra, Zheida y Mirla que más que hermanas son mis verdaderas amigas, quienes con sus palabras de aliento no me dejaba decaer para que siguiera adelante y siempre sea perseverante y cumpla con mis ideales.

Mis amigos y compañeros que durante estos cinco años estuvieron ahí apoyándome y por permitirme aprender más de la vida a su lado.

**Villalva Canchumanta Vanessa Soledad**

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, agradecemos a Dios, ya que sin Él no hubiésemos culminado este trabajo de investigación.

Agradecemos también a nuestras familias, por el apoyo incondicional brindado y la confianza depositada en nosotras.

A nuestro asesor de tesis, Mg Carlos Alfredo Cano Pérez, quien con su dedicación, paciencia, conocimientos y motivación nos orientó en el desarrollo de nuestra tesis. También agradecer al Q. F. Carlos Chinchay Barragán, quien cumplió un rol fundamental en la utilización del laboratorio para la realización del procedimiento experimental.

A los miembros del jurado, por brindarnos la oportunidad de presentar nuestra tesis y así poder contribuir al desarrollo de la investigación.

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Potenciales de oxidación de agentes oxidantes (25°C).....	15
Tabla 2: Etapas del procedimiento experimental.....	24
Tabla 3: Combinaciones experimentales.....	26
Tabla 4: Determinación de la concentración del colorante.....	29
Tabla 5: Determinación de la concentración del colorante al 0.025%.....	30
Tabla 6: Absorbancia del colorante degradado a diferentes tiempos.....	31
Tabla 7: Remoción del colorante por la oxidación(%).....	31
Tabla 8: Determinación del orden de la cinética de degradación del colorante azoico.....	32
Tabla 9: Elaboración de la curva de calibración: ácido gálico.....	35
Tabla 10: Compuestos fenólicos del alga tratada con colorante.....	37
Tabla 11: Compuestos fenólicos del alga tratada con colorante degradado.....	38

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura del grupo cromóforo azo.....	16
Figura 2: Curva de calibración del colorante amarillo ocaso.....	30
Figura 3: Degradación del colorante.....	32
Figura 4: Cinética de orden cero.....	33
Figura 5: Cinética de primer orden.....	33
Figura 6: Cinética de segundo orden.....	34
Figura 7: Curva de calibración del ácido gálico.....	36
Figura 8: Cinética de orden cero en el alga.....	37
Figura 9: Cinética de primer orden en el alga.....	38
Figura 10: Cinética de segundo orden en el alga.....	38
Figura 11: Cinética de orden cero del alga tratada con colorante degradado.....	39
Figura 12: Cinética de primer orden del alga tratada con colorante degradado....	40
Figura 13: Cinética de segundo orden del alga tratada con colorante degradado.	40



## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia.....	50
Anexo 2: Constancia de clasificación taxonómica.....	51
Anexo 3: Determinación de concentración del colorante amarillo ocaso de una bebida comercial.....	52
Anexo 4: Recolección del alga.....	55
Anexo 5: Extracción de compuestos fenólicos.....	54
Anexo 6: Determinación de $A_w$ .....	55
Anexo 7: Determinación de compuestos fenólicos.....	56
Anexo 8: Tratamiento del alga con colorante.....	59
Anexo 9: Alga tratada con colorante.....	60

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo la protección de las algas pardas (*Macrocystis pyrifera*) con la aplicación de fotocátalisis homogénea en el colorante amarillo ocaso (SIN 110). Es un estudio de tipo básico y experimental, la población está constituida por las algas pardas recolectada en las coordenadas 12°28'59'' sur y 76°47'59'' de la playa de Pucusana y una muestra constituida por 2Kg de fronda, los ensayos se realizaron en la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Bioquímica de la Universidad Inca Garcilaso de la Vega. Para efectos de esta investigación, el alga de la variedad *Macrocystis pyrifera*, fue recolectado en las playas de Pucusana en la ciudad de Lima; luego se determinó los compuestos fenólicos totales en el alga fresca, en seguida se sometió el alga a un tratamiento con colorante azoico y otro grupo de alga se sometió al colorante degradado por oxidación con luz ultravioleta, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y TiO<sub>2</sub>, por un máximo de 25 días. Posteriormente se realizó la determinación cuantitativa de compuestos fenólicos de los dos grupos de algas tratada y se determinó su cinética de degradación de los fenoles en el alga. Obteniéndose que la degradación de compuestos fenólicos en el alga sigue una cinética de primer orden.

Por otro lado, la degradación del colorante amarillo ocaso se realizó por oxidación avanzada, logrando una remoción del 56,02% del colorante azoico con 0,4% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y una remoción del 58,14% del colorante azoico con 0,2% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, en ambos casos se utilizó TiO<sub>2</sub>.

**Palabras clave:** *Macrocystis pyrifera*, fotocátalisis homogénea, oxidación avanzada.

## ABSTRACT

The objective of the present investigation was the protection of brown algae (*Macrocystis pyrifera*) with the application of homogeneous photocatalysis in the sunset yellow colorant (INS 110). It is a basic and experimental study, the population is made up of brown algae collected at the coordinates 12 ° 28'59"sur and 76 ° 47'59 "from the beach of Pucusana and a sample consisting of 2Kg of frond , the tests were carried out in the Faculty of Pharmaceutical Sciences and Biochemistry of the Inca Garcilaso de la Vega University. For the purposes of this investigation, the algae of the variety *Macrocystis pyrifera* was collected on the beaches of Pucusana in the city of Lima; then the total phenolic compounds were determined in the fresh algae, then the alga was subjected to a treatment with azo dye and another group of alga was subjected to the degraded dye by oxidation with ultraviolet light, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>, for a maximum of 25 days. Subsequently, the quantitative determination of phenolic compounds of the two treated algae groups was carried out and their kinetics of degradation of the phenols in the algae was determined. Obtaining that the degradation of phenolic compounds in the algae follows a first order kinetics. On the other hand, the degradation of the sunset yellow dye was made by advanced oxidation, achieving a removal of 56.02% of the azo dye with 0.4% of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and a removal of 58.14% of the azo dye with 0.2% of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, in both cases TiO<sub>2</sub> was used.

**KEY WORDS:** *Macrocystis pyrifera*, homogeneous photocatalysis, advanced oxidation.

## INTRODUCCIÓN

La industria en el Perú, consume grandes cantidades de agua y estas aguas generadas a partir de ella tienen contaminantes en grandes volúmenes, como los colorantes; los cuales son resistentes a la degradación microbiana, y es por ello que el uso de los métodos convencionales para su eliminación no es efectivo <sup>1</sup>. El uso de colorantes del tipo azoicos son muy usados por la industria farmacéutica, alimentaria y textil, llegando a representar el 70% de la producción mundial de colorantes sintéticos.<sup>2</sup>

La acumulación de colorantes en el ambiente de compuestos azoicos es un riesgo para la flora y fauna acuática. Entre los efectos ambientales más frecuentes de estos colorantes están la reducción del oxígeno disuelto, la formación de compuestos calcitrantes, la eutricación y formación de sustancias tóxicas para las células, la dificultad del paso de la luz, además son moléculas muy estables a la luz, a las altas temperaturas y agentes químicos oxidantes por la cual son difíciles de darle un tratamiento.

Es urgente la necesidad optimizar métodos y que sean económicos para el tratamiento de agua, para lo cual se ha planteado tratar el colorante amarillo ocazo a través de fotocátalisis homogénea. Además, se busca un método viable, de tal manera que se pueda aplicar en todo el país. Asimismo, se busca conservar el medio ambiente como las algas, que según estudios son indicadores de contaminación de los ecosistemas marinos y se le puede utilizar como restauradores del medio marino, ya que tienen la propiedad de atrapar metales pesados presentes en el agua <sup>3</sup>.

# **CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1.1 Descripción de la realidad problemática**

En América Latina, existe un problema de abastecimiento de agua. A esto hay que adicionar que cerca del 70% de las aguas desechadas por las industrias no tienen tratamiento, lo cual trae el problema de no cumplirse el ciclo del agua<sup>7</sup>. En el caso del Perú, las estadísticas también indican que alrededor del 70% de las aguas desechadas por las industrias químicas no tienen tratamiento de aguas <sup>8</sup>.

Las algas pardas marinas (*Macrocystis pyrifera*) son de interés para el país por su gran demanda, ya que es utilizado en la industria farmacéutica, cosmética, alimentaria y textil, además las praderas de macroalgas como las algas pardas alberga estadíos iniciales y adultos de diversas especies marinas. Por lo dicho anteriormente es de interés mantener la diversidad de las algas pardas.

Por otro lado, la industria alimentaria y en especial el de bebidas en el Perú, utiliza grandes volúmenes de agua como componente principal de las bebidas, pero también estas aguas son usadas en los procesos de limpieza de recipientes y aclarados; a esto hay que adicionar la utilización de otras sustancias como colorantes azoicos, azúcar, etc. Por la cual, las aguas de residuo de estas industrias tienen una gran cantidad de sustancias contaminantes, entre ellos el colorante amarillo ocaso (colorante azoico), que, por ser sintético, es muy difícil, su degradación <sup>4</sup>.

Los colorantes sintéticos son los colorantes orgánicos más disponibles en el mercado mundial y se estima que durante su uso son descargados entre el 10 y 15% al ambiente <sup>5</sup>.

De los contaminantes emergentes, un grupo de compuestos recalcitrantes está formado por colorantes sintéticos. Su acumulación en el medio ambiente marino constituye un riesgo para la flora y fauna acuática <sup>36</sup>. Entre los efectos adversos ambientales de estos colorantes están la formación de compuestos calcitrantes, la eutroficación y formación de sustancias tóxicas para las células, la dificultad del paso de la luz, además son moléculas muy estables a la luz, a las altas temperaturas y agentes químicos oxidantes por la cual son difíciles de darle un tratamiento<sup>6</sup>.

## **1. 2 Problemas**

### **1. 2.1 Problema general**

¿Cuál es la protección de las algas pardas (*Macrocystis pyrifera*) con la aplicación de la fotocatalisis homogénea en el colorante amarillo ocaso (SIN 110)?

### **1.2.2 Problemas específicos**

1. ¿Es posible degradar el colorante amarillo ocaso (SIN 110) empleando fotocatalisis homogénea con luz ultravioleta,  $H_2O_2$  y  $TiO_2$ ?
2. ¿La aplicación de luz ultravioleta,  $H_2O_2$  y  $TiO_2$  en el colorante amarillo ocaso (SIN 110) influye en la protección de las algas pardas (*Macrocystis pyrifera*) del mar?
3. ¿La degradación de los compuestos fenólicos del alga (*Macrocystis pyrifera*) presenta un orden de degradación de cinética?

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo general

Determinar la protección de las algas pardas (*Macrocystis pyrifera*) con la aplicación de la fotocátalisis homogénea en el colorante amarillo ocaso (SIN 110).

### 1.3.2 Objetivos específicos

1. Evaluar la degradación del colorante amarillo ocaso (SIN 110) empleando fotocátalisis homogénea con luz ultravioleta,  $H_2O_2$  y  $TiO_2$ .
2. Determinar si la aplicación de luz ultravioleta,  $H_2O_2$  y  $TiO_2$  en el colorante amarillo ocaso (SIN 110), influye en la protección de las algas pardas (*Macrocystis pyrifera*) del mar.
3. Determinar la cinética de degradación de los compuestos fenólicos del alga tratada con colorante.

## 1.4 Justificación

El presente estudio de investigación es de gran importancia, debido al crecimiento económico que registró el Perú en los últimos años, ha generado un desarrollo de la industria alimentaria, que por consiguiente ocasiona gran cantidad de residuos que por ende ocasionan mayor contaminación ambiental, y se debe proponer un método para atenuar el vertimiento de sustancias contaminantes, como los colorantes azoicos, que causan problemas al medio ambiente marino.

Este estudio se considera trascendente, debido a que los colorantes azoicos presentan una estructura química que les confiere resistencia y estabilidad a la degradación por la luz y temperatura; lo que ocasiona que permanezcan en el medio acuático por periodos largos <sup>9</sup>. Así mismo, se conoce que uno de los problemas medioambientales más comunes, son los residuos industriales químicos de la descarga de compuestos azoicos sin tratamiento debido que estos producen la obstrucción del paso de la luz a través del

agua. La obstrucción de la luz afecta a las algas y plantas acuáticas, debido a que estas no pueden completar su fotosíntesis y, además, se favorece la producción de aminas aromáticas, cuyo metabolismo se da en condiciones anaerobias <sup>25</sup>.

Ante esto, existe la necesidad de buscar métodos efectivos y económicos para el tratamiento de agua, para lo cual se ha propuesto tratar el colorante amarillo ocazo vertidos, a través de fotocátalisis homogénea. Además, se busca un método económico, de tal manera que se pueda aplicar sin dificultad en todo el país.

### **1.5 Limitaciones metodológicas**

Los colorantes tienen la propiedad de enlazarse covalentemente a fibras (componente de muchos vegetales), son muy solubles en agua debido a su alto grado de sulfonación y no son biodegradables. Estos colorantes presentan grupos derivados del ácido disulfónico y triazinas con los que llevan a cabo reacciones de adición o sustitución con la superficie.



## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Estado del Arte

#### 2.1.1 Antecedentes nacionales

**Alegre Y, Rosales S. 2017**, en su investigación “Influencia del tipo de fotocátalisis y tiempo en el tratamiento de aguas residuales textiles”. Determinaron el efecto que presenta la fotocátalisis y tiempo en la que se produce oxidación de aguas residuales. Los autores determinaron la fotocátalisis adecuada y el tiempo óptimo para obtener la oxidación de las aguas que suelen eliminar las industrias, el % de descomposición de aguas residuales textiles y además los investigadores determinaron la relación entre la variedad de fotocátalisis, tiempo y el porcentaje (%) de degradación de aguas usadas en la industria. Los resultados mostraron la presencia de un color rojo a un pH de 3,75 y una demanda química de oxígeno de 981,1 mg/L. Durante la investigación trabajaron con dos tipos de fotocátalisis, consideraron para el tiempo un tratamiento de 1, 2 y 3 horas. El flujo del efluente fue de 25 L por cada módulo, para este flujo utilizaron un colorante comercial y biftalato de potasio, para lo cual se consideró la composición del flujo de colorante real con demanda química de oxígeno de 981,1 ppm; color de 765, 6 JIS<sup>o</sup> y un pH de 3,75. En el efluente simulado, utilizaron 0,02 g/L de anilina; 0,57 g/L de biftalato de potasio para un demanda química de oxígeno de 1000 ppm en medio ácido clorhídrico para llegar a un pH próximo a 3. En la fotocátalisis del tipo homogénea se utilizaron 0,02 mg/L de  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 2 g/L de peróxido de hidrógeno. En la fotocátalisis heterogénea se necesitó 200 g/L del colorante anilina; 0,25 mg/L de dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ); 1 g/L de peróxido de hidrógeno. Las pruebas se realizaron en un lapso de 1, 2 y 3 horas, lo mismo fue para cada uno de los módulos. Los investigadores concluyen que el porcentaje de descomposición de la materia

orgánica y pigmentación en la fotocátalisis del tipo homogénea y heterogénea es 83,47% y 40,33%, y 90,62% y 60,85%, respectivamente. De esta forma determinaron el mejor tiempo de descomposición de la materia orgánica y la oxidación del color en la homogénea 2,76 y 4,85 horas y la descomposición de la materia orgánica y la oxidación del color heterogénea es 3,18 y 4,85 horas<sup>29</sup>.

**De la cruz H, Valdez M. 2016**, en su investigación “Degradación del azul de metileno, del efluente de la industria textil grupo Grande SAC, mediante oxidación combinada ozono/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>”. Oxidaron el azul de metileno, del efluente residuo de la industria textil, utilizaron una oxidación con ozono/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, además se completó el efecto usando agentes bactericidas y agentes blanqueadores para optimizar la degradación de color; los investigadores plantearon este método debido que muchos tratamientos convencionales no lograron resultados óptimos. Utilizaron como diseño experimental un factorial simple, con una variables independientes de pH y el volumen de ozono de 9ppm; la investigación se realizó con un reactor discontinuo donde continuamente se monitoreaba el % de oxidación durante la reacción; trabajaron a dos niveles observando que con un pH=6 y volumen de 2,5 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, se logra alcanzar la oxidación del colorante en un lapso de 3 min. De este modo los autores lograron una buena degradación y a su vez observaron que con pH=8 y un volumen de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 2,5 mL; la oxidación fue mejorado a pH alcalino, en la proporción molar de ozonización y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> es aproximadamente de 2:1, Se logró un mayor % de oxidación a un pH=8 y 2.5 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> con un valor de 98,14 %<sup>30</sup>.

**Saucedo C, Trigoso A. 2013**, en su investigación “Identificación de colorantes azoicos en bebidas refrescantes expendidas en mercados Mayorista y Hermelinda de la ciudad de Trujillo, mayo – junio de 2013”. Identificaron los colorantes del tipo azoico en refrescos comercializadas en la ciudad de Trujillo, los autores determinaron que los compuestos del tipo azoico identificados en estos refrescos se encuentran en la lista oficial de colorantes que pueden ser utilizados por el consumidor, según la Norma Técnica Peruana Nacional (NTP) basado en el Codex y el Reglamento de

Vigilancia y Control Sanitario de Alimentos y Bebidas. Los investigadores analizaron 45 muestras. El reconocimiento cualitativo se realizó por el Método Arata Possetto. Posteriormente las muestras que arrojaron positivo fueron analizadas para la identificación cuantitativa de colorantes azoicos, usando el espectrofotómetro. Los autores identificaron compuestos azoicos como Amarillo oca, Tartrazina, Rojo Allura y Azul de Indigotina<sup>7</sup>.

### **2.1.2 Antecedentes extranjeros**

**Donadelli J. 2018**, en su investigación “Sistemas basados en el empleo de peróxido de hidrógeno para el tratamiento de efluentes textiles”. Implementó dos sistemas para desarrollar la oxidación de xenobióticos con  $H_2O_2$ , el uso de hierro metálico como reactivo/catalizador y el uso de enzimas inmovilizadas. En el primer sistema se aplica el tratamiento con hierro metálico y  $H_2O_2$  (llamado Fenton mediante ZVI o FAZ) mediante ensayos en batch. Los conocimientos adquiridos sobre esta técnica se utilizarán luego para construir y evaluar un tratamiento FAZ que opere en continuo. En el segundo sistema estudiaron el uso de peroxidasa de soja libre e inmovilizada en nanopartículas recubiertas con sílice<sup>43</sup>.

**Barrios L, Gaviria L, Agudelo E, Cardona S. 2016**, en su investigación “Estudio de la toxicidad asociada al vertimiento de aguas residuales con presencia de colorantes y pigmentos en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá”. Presentaron los efectos toxicológicos ambientales relacionados a la propiedad que tienen los colorantes de obstruir el paso de la luz en un medio acuoso, así mismo la toxicidad que produce los colorantes. Realizaron un diseño experimental que relaciona la concentración de colorante, porcentaje de sólidos presentes y la longitud de onda de absorción de colorantes sobre un organismo patrón como el *Selenastrum Capricornutum*; los investigadores trabajaron con modelos de regresión determinando que un 94 y 99 por ciento los efectos mencionados. La toxicidad de la molécula fue determinada por la prueba de toxicidad de *Daphnia magna*<sup>32</sup>.

**Molina G, Sandoval C. 2016**, en su investigación “Estudio de la degradación fotocatalítica de colorantes azoicos con el uso de dióxido de titanio (TiO) y óxido de zinc (ZnO) inmovilizados en soportes poliméricos”. Realizaron la oxidación fotocatalítica del azul BRL y pardo LEGL usando TiO<sub>2</sub> y ZnO y soportado en polímeros como el polietileno y poliestireno. Los autores también investigaron el efecto del soporte y la cantidad de inmovilizaciones sobre el catalizador inmovilizado y determinaron la constante cinética de degradación fotocatalítica del azul BRL y pardo LEGL. Luego determinaron el efecto del pH sobre la constante degradación cinética y la fuerza de Van Der Waals física del colorante azul BRL y el pardo LEGL con el objetivo de encontrar el mejor catalizador para ser usado en el diseño de un reactor fotocatalítico usando placas en paralelo y con disposición en cascada. Posteriormente evaluaron la remoción de la demanda química de oxígeno y color del tipo real de un efluente. La mayor cantidad de catalizador inmovilizado, TiO<sub>2</sub> y ZnO, fue obtenida con 15 inmovilizaciones. Para el dióxido de titanio se logró un valor alrededor de 0,399 mg/cm<sup>2</sup> en polietileno y 0,418 mg/cm<sup>2</sup> en poliestireno y para el ZnO de 0,689 mg/cm<sup>2</sup> en polietileno y 0,709 mg/cm<sup>2</sup> en poliestireno. La cinética de oxidación de los colorantes siguió una reacción de pseudo-primer orden. No lograron determinar la influencia del soporte sobre la constante cinética, con el uso de los 02 catalizadores. Con el óxido de zinc soportado, la constante cinética de oxidación del colorante se incrementó en proporción al número de inmovilizaciones; mientras que al utilizar TiO<sub>2</sub> aumento quince inmovilizaciones en la oxidación del colorante pardo LEGL. El pH durante el tratamiento, no encontraron diferencias significativas entre pH=2.5 y pH=6.0 usando como soporte dióxido de titanio, sobre la constante de oxidación cinética de los dos colorantes. Por otro lado, el uso de óxido de zinc soportado las constantes de degradación cinéticas del colorante azul BRL fueron estadísticamente iguales a pH=7.0 y pH=9.0 y 11.0. Para el colorante pardo LEGL, el mejor valor se alcanzó con un pH=7.0 y no se registraron diferencias estadísticas significativas a pH=9.0 y pH=11.0. Las fuerzas físicas de adsorción de los 02 colorantes siguió la modelización de Langmuir, para el dióxido de titanio fue mayor a pH=2,5; mientras que, para el óxido de zinc fue mayor a pH=7,0. Al hacer el tratamiento de los residuos industrial se

lograron remociones del 26.52 % de demanda química de oxígeno y 49.76 % de color real en un tiempo de 6 horas en el reactor propuesto y del 28.08 % de demanda química de oxígeno y 52.13 % de color real en un tiempo de residencia de 3 horas en placas colocadas en tipo paralelo<sup>12</sup>.

**GilPavas E, Medina J, Dobrosz-Gómez I, Gómez M. 2016**, en su investigación “Degradación de colorante amarillo 12 de aguas residuales industriales utilizando Hierro cero valente, peróxido de Hidrógeno y radiación ultravioleta”. Encontraron los mejores parámetros para concentración del colorante, % de  $H_2O_2$ , pH, cantidad en g/L de hierro, y radiación UV, para determinar los mejores parámetros de degradación de colorante. Utilizaron el método Fenton del tipo heterogéneo, con hierro metálico, en un tanque de lecho fluidizado para el tratamiento de efluentes residuales. Utilizaron un diseño factorial fraccionado, con el objetivo de encontrar los factores más significativos. Luego emplearon el modelo de Superficie de Respuesta. Los autores encontraron concentración inicial del colorante: 881 mg/L, pH=5, concentración de hierro metálico de 5,31 g/L, y concentración de  $H_2O_2$  de 0,86 mL/L. Por otro lado, realizaron un estudio cinético donde encontraron 100% de oxidación del colorante y el 80,83% de la demanda química de oxígeno en 2 horas y media de reacción<sup>13</sup>.

**Ensuncho A, Milanés N, Robles J. 2015**, en su trabajo “Remoción del colorante rojo allura en solución acuosa utilizando carbones activados obtenidos de desechos agrícolas”. Estudiaron la eliminación del compuesto azoico rojo allura con variedades diferentes de carbón activado. Se caracterizó el carbón activado por espectroscopia infrarroja, microscopía de barrido electrónico y rayos X, de esta forma se obtuvo compuestos carbonáceos. Las superficies del material carbonáceos activados, se determinaron aplicando isothermas de sorción. Por otro lado, se estudiaron las isothermas de adsorción del colorante teniendo como factores de estudio el pH, el tiempo, la concentración y la cantidad de adsorbente. El carbón de maíz llegó tener un porcentaje de remoción elevado del compuesto con respecto al carbón activado obtenido de la cáscara de coco y cascara de arroz. El modelo de isotérmico de Langmuir fue el que presentó mejores

resultados. Se comprobó un modelo cinético de pseudo segundo orden para el colorante rojo allura<sup>6</sup>.

**Alarcón, C. 2014**, en su trabajo “Tratamiento de aguas residuales provenientes de la fase de teñido de la curtiembre mediante un sistema físico-químico basado en la oxidación avanzada con la ayuda del semiconductor  $\text{TiO}_2$  en presencia de luz UV”. Estudió un tratamiento a los efluentes industriales de textilería de teñido. El investigador uso un sistema físico y químico sustentado en la oxidación catalizada con un semiconductor y luz UV. Realizó una observación del comportamiento del compuesto azoico frecuentemente usado en textilería con ayuda del  $\text{TiO}_2$  mediante isoterma de adsorción. Luego se utilizaron los compuestos azoicos a diferentes proporciones, esta degradación fue empleada con experimentos en Batch con  $\text{TiO}_2$  en suspensión y con luz UV y también experimentado con reactor Flujo con el  $\text{TiO}_2$  fijado en un lecho con y sin luz UV. Posteriormente se investigó los efluentes de la industria textil, finalmente, para el tratamiento de los efluentes se trabajó con un reactor PFR con el uso de  $\text{TiO}_2$  inmovilizado con y sin luz UV. Se encontró en los batch una variación de remoción de 34 por ciento hasta el 83 por ciento para una concentración de 10mg/L. los estudios en PFR se encontró una remoción del 94.25 por ciento sin luz UV y de 95.35 por ciento con luz UV. En cuanto a la remoción de colorante de los efluentes industriales se obtuvieron una eliminación del 89.75 por ciento con luz UV y sin luz UV un promedio de remoción del 78 por ciento<sup>31</sup>.

## 2.2 Bases teóricas y/o legales

### 2.2.1 Algas pardas

Las algas son fuentes de biomasa de mayor interés. Pueden sintetizar y conservar en sus células diferentes moléculas de importancia para el hombre, hay interés de aplicación en fármacos y aditivos alimentarios, productos agroalimentarios, en cosmética y existe interés para tratamiento de aguas <sup>14</sup>.

Las algas pardas producen metabolitos secundarios como por ejemplo terpenoides, florotaninos, oxilipinas e hidrocarburos volátiles. Estos compuestos ofrecen actividades farmacológicas tales como: citotóxica, antimicrobiana, antioxidante, y como inhibidores de diferentes enzimas <sup>17</sup>.

Además, presenta propiedades antioxidantes por la presencia de compuestos como los fenoles <sup>18</sup>.

### Identificación Taxonómica

La clasificación taxonómica se detalla a continuación:

**División:** Ochrophyta

**Clase:** Phaeophyceae

**Subclase:** Fucophycidae

**Orden:** Laminariales

**Familia:** Laminariaceae

**Género:** *Macrocystis*

**Especie:** *Macrocystis pyrifera*

Según Anexo 2.

## ***Macrocystis pyrifera***

### **Características**

Tienen una coloración amarillo pálido a café y pudiendo llegar a medir hasta 30 m de longitud. En su estructura morfológica se compone de un disco de fijación o rizoide masivo, llegando alcanzar los 40 cm de diámetro y 35 cm de altura; estípites largos, cilíndricos, flexibles y de ramificación dicotómica; y frondas o láminas que surgen de los estípites. Las láminas son lanceoladas y rugosas con márgenes dentados y aquellas cercanas a la base no presentan neumatóforos, estructuras globosas llenas de aire que proporcionan flotabilidad a la planta. Las últimas láminas de cada ramificación son anchas y poseen el meristemo apical que por escisión da origen a una nueva lámina. Tienen un ciclo de vida con alternancia de generaciones heteromórficas, siendo el esporofito la planta macroscópica y los gametofitos masculino y femenino microscópicos<sup>44</sup>.

### **Composición**

Las algas pardas producen metabolitos secundarios como por ejemplo terpenoides, florotaninos, oxilipinas e hidrocarburos volátiles. Estos compuestos ofrecen actividades farmacológicas tales como: citotóxica, antimicrobiana, antioxidante, y como inhibidores de diferentes enzimas<sup>17</sup>. Además, presenta propiedades antioxidantes por la presencia de compuestos como los fenoles<sup>18</sup>.

### **Hábitat y Aspectos Ecológicos**

Habitan preferentemente en aguas con temperaturas de 15°C o inferiores; y viven fijadas a fondos rocosos entre 6 a 20 m de profundidad, llegando a colonizar grandes extensiones de sustrato formando densos bosques submareales.

Estos bosques constituyen refugio y alimento de una gran diversidad de especies de invertebrados y peces, así como sustrato para otras especies de algas. Asimismo, tienen un activo rol como productores primarios y contribuyen al incremento de las tasas de sedimentación favoreciendo a que grandes cantidades de carbono sean fijados en el ecosistema. También constituye



hábitat, refugio y alimento de una gran diversidad de especies de invertebrados y peces, así como sustrato para otras especies de algas<sup>16</sup>.

### **Utilización**

En el mercado internacional, se emplea en la industria de los alginatos, las cuales son gomas con propiedades espesantes, estabilizantes, emulsificantes o gelificantes que se usan ampliamente en la industria alimenticia, farmacéutica, cosmética, papelera, textil, de adhesivos, entre otras<sup>16</sup>.

### **Distribución geográfica**

Presenta una distribución bipolar. Habita las costas del Pacífico de América del Norte (México, norte de Baja California y Alaska) y del Sur (desde Lima hasta el Cabo de Hornos); Sur de África, Australia, Nueva Zelanda, Noruega, Escocia, Japón y Corea. En el Perú, los mayores registros se encuentran en la zona centro y sur de nuestro litoral<sup>16</sup>.

### **Fotocatálisis**

La fotocatalisis se caracteriza por un fotocatalizador particulado con energía suficiente para producir foto-excitación. El  $\text{TiO}_2$  al interaccionar con la radiación UV, produce reacciones que en su superficie generan electrones que a su vez son capaces de provocar reacciones de reducción y oxidación, respectivamente, en el entorno. Estos procesos se aprovechan en remediación ambiental, generación de energías limpias, síntesis orgánica<sup>19</sup>.

### **Oxidación avanzada**

La oxidación avanzada son procesos que se basan en la formación de hidroxilos ( $\bullet\text{OH}$ ), que son altamente reactivos y no selectivos, con lo que se alcanza en un tiempo determinado la mineralización de los contaminantes<sup>20</sup>. Se observa en la tabla siguiente, el hidroxilo ( $\bullet\text{OH}$ ) y su potencial de oxidación en comparación con otros oxidantes como el dióxido de cloro, el peróxido de hidrógeno, el ion permanganato, entre otros<sup>12</sup>.

**Tabla 1: Potenciales de oxidación de agentes oxidantes (25°C )**

Oxidante	Potencial de oxidación (eV)
Radical hidroxilo ( $\bullet\text{OH}$ )	2,80
Ozono ( $\text{O}_3$ )	2,07
Peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )	1,77
Radical perhidroxilo ( $\text{OOH}$ )	1,70
Ion permanganato ( $\text{MnO}_4$ ) <sup>-1</sup>	1,67
Dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ )	1,50
Cloro ( $\text{Cl}_2$ )	1,36
Oxígeno ( $\text{O}_2$ )	1,23

*Fuente: Molina G, Sandoval C. 2016*

La fotocatalisis con  $\text{TiO}_2$  es un método de oxidación avanzada, muy aplicado en la degradación de compuestos orgánico en medio acuoso, se incluye la degradación de diferentes colorantes azoicos. La fotocatalisis con  $\text{TiO}_2$  se basa en la irradiación con UV. Los rayos UV tienen energía con longitud de onda menor a 380 nm, con esta propiedad física llega a provocar una transición de un electrón de la capa de valencia del  $\text{TiO}_2$  a la banda gap de 2.3 eV. La transición genera una vacante cargada o un hueco<sup>21</sup>.

### **Nuevas Tecnologías de oxidación**

Existen nuevas tecnologías que aplican energía para la provocar radicales  $\bullet\text{OH}$ , los más comunes son la fotólisis, foto-fenton y la fotocatalisis heterogénea<sup>42</sup>. La fotocatalisis heterogénea comprende un semiconductor que actúa como catalizador que optimiza la reacción de degradación de un compuesto no deseado gracias a la acción de la luz artificial<sup>20</sup>. El titanio, es un semiconductor con conductividades eléctricas intermedias, puede absorber luz con ciertas longitudes de onda y además presenta actividad fotocatalítica. Una característica importante es la presencia de dos bandas energéticas; una de baja energía llamada banda de valencia, donde los electrones se encuentran comúnmente y otra con elevada energía llamada banda de conducción<sup>12</sup>. El uso de un semiconductor en un tratamiento fotocatalítico debe tener la característica de ser estable, no tóxico, inerte, absorber luz visible y/o UV y resistente al envenenamiento de catálisis. Los semiconductores más comunes son:  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , y  $\text{SrTiO}_3$  <sup>(12)</sup>. El  $\text{TiO}_2$  es el más común

debido a su alta fotoconductividad, baja foto-corrosión, estabilidad química, inocuidad, disponibilidad y es barato. Entre las ventajas del uso de la fotocatalisis son varias y las más destacadas son su bajo costo en relación a procesos como la ósmosis invertida o los procesos de nano y ultrafiltración. Por otro lado, los contaminantes son desechados al medio ambiente del entorno y se puede llegar a su completa mineralización. Este proceso es de mayor eficacia que los métodos tradicionales de tratamiento debido a que la molécula a eliminar se destruye y no deja residuos de la molécula del inicio, de esta forma se evitan tratamientos posteriores<sup>20</sup>. Al ser un tratamiento no selectivo, puede aplicarse en mezclas de contaminantes, sin embargo, no se puede utilizar para concentraciones elevadas de materia orgánica (1 gramo/L), se estaría obligado a una dilución debido que existe la probabilidad contaminante en la superficie del catalizador <sup>22</sup>.

### 2.2.2 Colorantes azoicos

#### Definición

Los colorantes son agentes químicos que dispersos en un medio tienen la propiedad de dar un color, sin modificar ninguna de las características del mismo<sup>23</sup>.

El color se puede definir como un tipo de energía que el hombre percibe mediante una sensación visual. El hombre percibe los colores provenientes de una longitud de onda entre los 380 y 780 nm<sup>24</sup>.

Los colorantes azoicos presentan al menos un grupo cromóforo azo en su estructura, como característica principal como se muestra en la Figura 1.

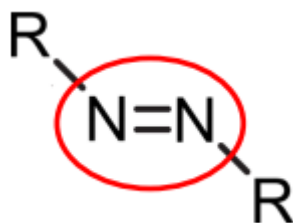


Figura 1 : Estructura del grupo cromóforo azo

Este grupo azo está unidos a grupos aromáticos que son muy estables en la configuración trans<sup>25</sup>. Por otro lado, el grupo cromóforo, une estructuras aromáticas con diferentes grupos funcionales como –OH o –SO<sub>3</sub>H <sup>2</sup>

### **Colorantes artificiales usados en alimentos**

Los colorantes usados en alimentos tienen la ventaja en su firmeza de color, bajo costo, alta efectividad, homogeneidad entre los lotes y no presenta aromas y sabores. Entre los colorantes sintéticos sobresalen los colorantes del grupo azoico y no azoico. Los compuestos azoicos deben su color al grupo azo –N=N– conjugado con compuestos aromáticos, y suelen ser muy utilizados en la industria de bebidas <sup>28,37 y 38</sup>.

#### *Tartrazina (E102)*

Es un colorante amarillo de mayor consumo en el país, su estructura molecular es C<sub>16</sub>H<sub>9</sub>N<sub>4</sub>Na<sub>3</sub>O<sub>9</sub>S<sub>2</sub>, con masa molecular es 534,4. Presenta un grupo azoicos, debido a la presencia del grupo azo (-N=N-) unido a anillos aromáticos. Se comercializa en forma de polvo brillante, de color amarillo naranja, es inodoro, higroscópico, estable en ácidos, soluble en moléculas polares, pero presenta solubilidad baja en etanol. En condiciones alcalinas adquiere una coloración rojiza <sup>38 y 39</sup>.

Utilizado en más de 70 países como los Estados Unidos y la Unión Europea. Se suele utilizar en galletería, sopas instantáneas, helados, caramelos y bebidas. Puede producir alergia en el 10% de los consumidores.

La legislación de muchos países indica que la tartrazina tiene una dosis máxima de 100mg/kg de producto y debe ser declarado en la etiqueta del producto indicando específicamente que: “contiene tartrazina o colorante amarillo N° 5” <sup>28</sup>.

#### *Azorrubina (E122)*

Se caracteriza por su color rojo. No se comercializa en los Estados Unidos, pero si en parte de Europa, se suele usar en la elaboración de caramelos.

Puede provocar complicaciones respiratorias y dérmicas en personas sensibles a los salicilatos.

*Rojo Ponceau (E124)*

Se emplea para producir el color fresa de caramelos y en productos cárnicos. No se comercializa en Estados Unidos.

*Negro brillante (E151)*

Se caracteriza por su color negro. Se suele emplear en salsas, y principalmente para colorear sucedáneos del caviar. No se comercializa en Noruega Suecia, EE. UU, Canadá y Japón. Se ha reportado síndromes de alérgicas.

*Amaranto (E123)*

Se caracteriza por el color rojo que presente, suele usarse en caramelos, pastelería, licores, etc. Se han reportado reacciones alérgicas y cancerígenas. Años atrás (década del 70) se reportó que producía defectos en los embriones en animales de experimentación (alteraciones en los cromosomas). En 1976 fue prohibió en los estados Unidos <sup>28</sup>.

*Amarillo anaranjado S (E110)*

Color amarillo anaranjado usado en bebidas no alcohólicas, helados y caramelos. En Europa no está autorizado en conservas <sup>28 y 39</sup>.

## 2.3 Hipótesis

### 2.3.1 Hipótesis general

La aplicación de la fotocátalisis homogénea en el colorante amarillo ocaso (SIN 110) sí influye en la protección de algas pardas (*Macrocystis pyrifera*) del mar.

### 2.3.2 Hipótesis específicas

1. La aplicación de luz ultravioleta,  $H_2O_2$  y  $TiO_2$  en el colorante amarillo ocaso (SIN 110) sí influye en la degradación del colorante amarillo ocaso (SIN 110).
2. La aplicación de luz ultravioleta,  $H_2O_2$  y  $TiO_2$  en el colorante amarillo ocaso (SIN 110) sí influye en la protección de algas pardas (*Macrocystis pyrifera*) del mar.
3. El colorante amarillo ocaso (SIN 110) degrada los compuestos fenólicos del alga en un determinado orden de cinética.

## 2.4 Definición de términos básicos

1. **Concentraciones:** magnitud que mide la cantidad de soluto con referencia un solvente en una disolución.
2. **Fotocatálisis:** es un proceso donde se produce reacciones de oxidación, deshidrogenación, transferencia de hidrógeno, depósito de metales, descontaminación de agua y remoción de contaminantes gaseosos.
3. **Reactor Batch:** El reactor tipo Batch no es más que un reactor donde no hay flujo de entrada ni de salida.
4. **Lecho fluidizado:** consta de un lecho con partículas sólidas, se hace pasar un fluido buscando una mezcla homogénea entre el fluido y las partículas.
5. **Materiales Carbonáceos:** Es una sustancia rica en carbono. En particular, los hidrocarburos carbonáceos están bien insaturados, con

hidrocarburos de gran masa molecular, con una elevada proporción entre el carbono y el hidrógeno

6. **Carragenanos:** Es un polímero conformado por galactosa con celulosa, forma parte de las paredes celulares de las algas de las algas rojas.

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

### **3.1 Tipo y Diseño de investigación**

#### **3.1.1 Tipo**

La investigación es básica, y experimental ya que se analizó la causa y efecto.

#### **3.1.2 Nivel**

Es transversal y Cuantitativo.

#### **3.1.3 Diseño de Investigación**

En el diseño de la investigación es de tipo experimental, ya que se desea comprobar los cambios mediante ensayos aleatorios.

### **3.2 Población y muestra**

#### **Población**

Algas pardas recolectada en las coordenadas 12°28'59'' sur y 76°47'59'' de la playa de Pucusana.

#### **Muestra**

Se considera 2 Kg de fronda del alga parda.



### 3.3 Equipos, materiales y reactivos

#### Material biológico

- Alga parda (*Macrocystis pyrifera*)

#### Material de vidrios y otros

- 04 luna de reloj
- 04 pipetas volumétricas
- 04 propipetas
- 04 fioles de 50 mL
- 04 probetas
- tubos de ensayo
- 04 baguetas
- Espátula de metal
- vaso precipitado de 250 mL
- vaso precipitado de 1 L
- embudos
- matraz Erlenmeyer,
- frascos de vidrio con tapa
- mascarilla
- gorros
- hisopos
- papel filtro
- 03 gradilla
- gotero
- guantes
- mortero de porcelana,
- espátula,
- papel kraft

### **Equipos e instrumentos**

- Estufa
- Baño María
- Balanza analítica
- Refrigerador
- cocinilla eléctrica.
- Espectrofotómetro
- Potenciómetro

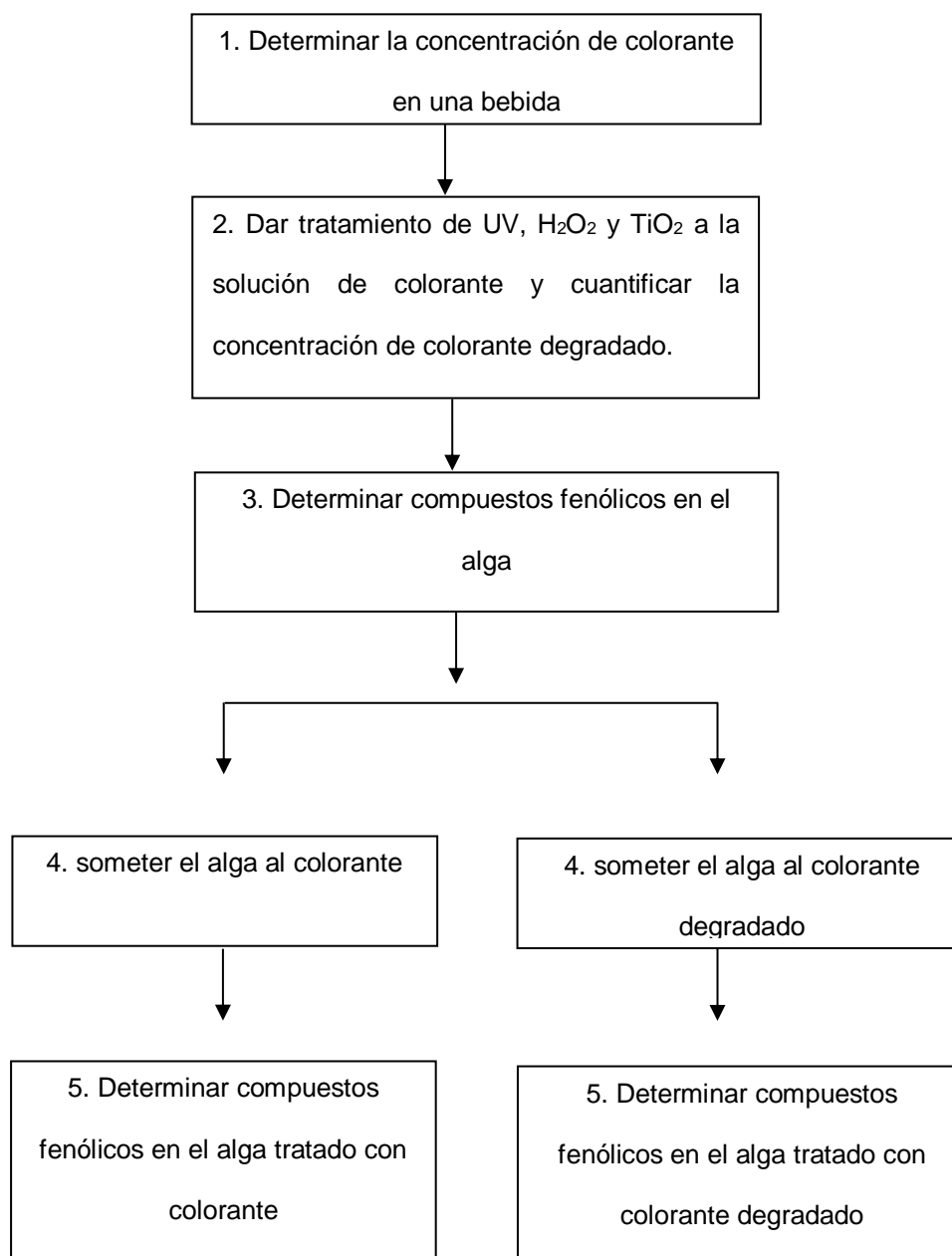
### **Reactivos**

- Agua destilada
- Alcohol 96°
- Peróxido de hidrógeno
- Dióxido de titanio
- Folin ciocalteu
- Carbonato de sodio
- Ácido clorhídrico 35%
- Colorante amarillo ocaso (SIN 110)

### 3.4 Procedimientos

El procedimiento experimental de este estudio presenta 5 etapas:

**Tabla 2: Etapas del procedimiento experimental**



**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.5 Procesamiento de datos

Los ensayos experimentales se realizaron en los laboratorios de especialidad de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Bioquímica de la Universidad Inca Garcilaso de la Vega.

#### **Etapas 1: Determinación de la concentración de colorante en una bebida**

Se prepararon las soluciones estándares a partir de una solución de 0.025% (250 mg/L) de amarillo ocaso, utilizando como solvente agua destilada.

Se realizó un barrido en el UV-VIS para identificar la longitud de onda a la cual el colorante de amarillo ocaso posee mayor absorbancia.

Se diluyó el estándar en 5 concentraciones diferentes y se realizó la curva de calibración del colorante amarillo ocaso.

Se realizó las lecturas correspondientes por triplicado en el espectrofotómetro a longitudes de onda de mayor absorbancia.

Luego teniendo la gráfica de absorbancia vs concentración estándar del colorante, se determinó la concentración del colorante azoico en una bebida comercial (gatorade sabor naranja).

#### **Etapas 2: Tratamiento de UV, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y TiO<sub>2</sub> a la solución de colorante y cuantificación de la concentración de colorante degradado.**

El sistema se realizó mediante una cuba de vidrio, que se emplea como reservorio para el almacenamiento del colorante, Se empleó una lámpara de luz ultravioleta con lámpara de mercurio. Este sistema se trabajó con un pH de la solución de 3,0. Se utilizó una concentración inicial de 24 mg/L del colorante. La degradación de éste se determinó mediante el empleo de la espectrofotometría UV/Visible después de tres horas de tratamiento con peróxido de hidrógeno (agente oxidante) y dióxido de titanio (catalizador), ver tabla 01.

**Tabla 3: Combinaciones experimentales**

	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (%v/v)	TiO <sub>2</sub> (mg/L)
<b>tratamiento 1</b>	0,1	50
<b>tratamiento 2</b>	0,2	50
<b>tratamiento 3</b>	0,4	50

**Fuente:** Elaboración propia

Se presenta las diferentes concentraciones de peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) con la que se trabajará la oxidación.

### **Etapas 3: Determinación de compuestos fenólicos en el alga**

#### **Colecta del material biológico**

La especie vegetal (alga parda) se colectó en la playa de Pucusana, su ubicación geográfica está en las coordenadas 12° 28' 59" sur y 76° 47' 59" oeste.

#### **Clasificación taxonómica**

Su clasificación se realizó en el Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, según el sistema de clasificación de Guiry, M.D & Guiry, G.M. 2018, Algae Base.

#### **Extracción de compuestos fenólicos del alga**

Las algas fueron lavadas con agua de mar y luego con agua potable; separándose la fronda del alga, para su posterior tratamiento. Se realizó primero el secado en estufa a 40°C, la molienda se realizó en molino de marca Bosch modelo MKM6003 de procedencia de Eslovenia, luego el tamizado fue realizado por cribas.

El extracto hidroalcohólico se realizó según lo publicado por Rodríguez Lichtenheldt, J. <sup>26</sup> en el laboratorio de especialidad de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Bioquímica de la UIGV, utilizando un macerado de etanol al 50% y agua en proporción 1:1, durante 7 días; luego se procedió al

secado a 40°C; una vez la muestra seca se realizó la molienda utilizando el mortero; hasta obtener polvo de alga.

### **Determinación del tamaño de partícula**

Es un método donde las cribas son colocadas en pilas, con la abertura más pequeña al fondo. En el análisis de la partícula y su tamaño se suele colocar en la parte superior de la criba, luego se agita durante un tiempo determinado. Las partículas retenidas se pesan, y finalmente se calculan los porcentajes de las partículas separadas<sup>27</sup>.

### **Determinación de actividad de agua (Aw)**

La actividad del agua ( $a_w$ ) se define como la relación de la presión de vapor de agua en un alimento a la presión de vapor de agua pura a la misma temperatura y nos da una idea de la cantidad de agua disponible metabólicamente <sup>28</sup>. Anexo 6.

### **Cuantificación de compuestos fenólicos en el alga fresca**

La determinación de fenoles totales se realiza por el método de Folin–Ciocalteu, que se basa en la capacidad que tienen los polifenoles en reducir el Mo(VI) a Mo (V), a esto, el reactivo de color amarillo pasa a un color azul que se mide a 765nm <sup>28</sup>.

Se prepararon las soluciones estándares a partir de una solución de 0.02g de ácido gálico en 100mL (200 mg/L).

Se diluyó el estándar en 6 concentraciones diferentes y se realizó la curva de calibración.

Se realizó las lecturas correspondientes por triplicado en el espectrofotómetro a 765 nm de longitud de onda.

### **Etap 4: Someter el alga al colorante**

El alga fue sometida al colorante amarillo ocaso por 3 semanas, con la intención de evaluar si los metabolitos del material biológico (alga) son

alterados, debido al contacto con el colorante, para esto se determinaron el contenido de polifenoles totales. Anexo 7.

#### **Etapas 5: Determinación de compuestos fenólicos en las algas tratadas con colorante y las algas tratadas con colorante degradado**

El alga sometida al colorante amarillo ocaso, se avaluó su contenido de polifenoles totales en el extracto seco por el método de Folin– Ciocalteu.

Se realizó el ensayo en una muestra fronda del alga con colorante y otra con la fronda del alga con el colorante degradado por el tratamiento de UV,  $H_2O_2$  y  $TiO_2$

#### **3.5.1 Técnica de procesamiento y análisis de datos**

Los resultados obtenidos de la investigación serán incorporados a una base de datos en Excel, para su análisis.

## CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Presentación de Resultados

#### 4.1.1 Determinación de la concentración de colorante en una bebida

Se preparó una solución al 0,025%, con la cual se realizó el barrido UV-Vis

Tabla 4: Determinación de la concentración del colorante

$\lambda$ (nm)	absorbancia
300	0,8536
320	0,5940
340	0,2134
360	0,2311
380	0,3861
400	0,4956
420	0,5458
440	0,6626
460	0,9515
480	1,2170
490	1,1958
500	1,1475
520	0,7270
540	0,0798
560	0,0775
580	0,0741
600	0,0776

**Fuente:** Elaboración propia

Se encontró la longitud de onda de mayor absorbancia,  $\lambda = 480\text{nm}$

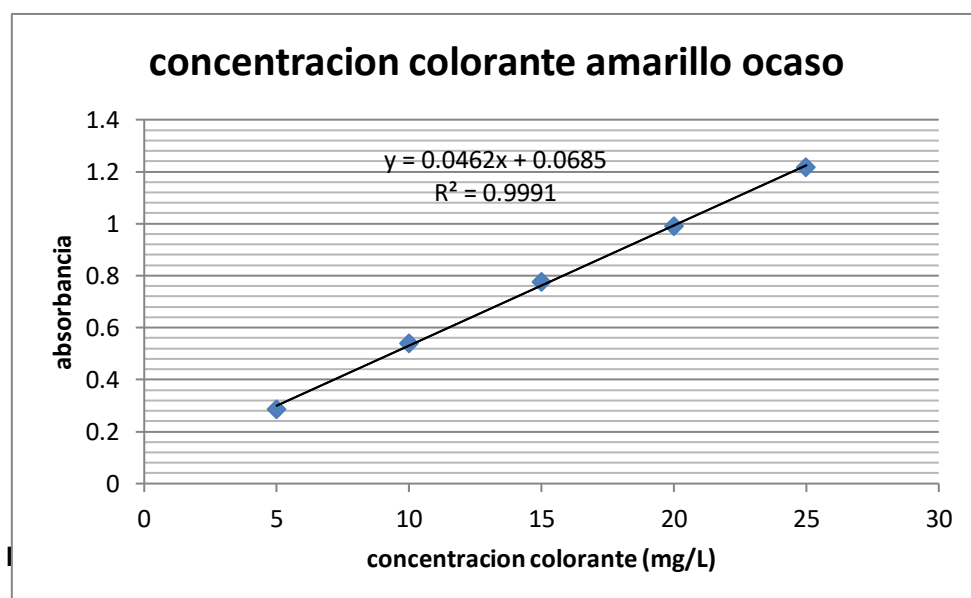


A partir de la solución de colorante amarillo ocaso al 0,025% (solución patrón), se realizó 5 diluciones y se determinó su concentración:

Tabla 5 : Determinación de la concentración del colorante al 0.025%

patrón	cc(mg/L)	A
1	5	0,2870
2	10	0,5388
3	15	0,7766
4	20	0,9907
5	25	1,2170

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Se escogió una muestra de bebida gatorade sabor naranja, y se diluyó 5mL de la bebida en 50mL. Se colocó en el espectrofotómetro y se leyó su absorbancia a 480nm, A= 0,1775

De la ecuación:  $y = 0,0462 X + 0,0685$

$X = 2,359 \text{ mg/L}$        $X = 2,359 \times 10 = 23,59 \text{ mg/L}$ . **concentración de la bebida.**

#### 4.1.2 Tratamiento de UV, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y TiO<sub>2</sub> a la solución de colorante y cuantificación de la concentración de colorante degradado.

**Tabla 6 : Absorbancia del colorante degradado a diferentes tiempos**

Muestra	A(30 min)	A(60 min)	A(90min)	A(120 min)	A(150 m.)	A(180 m.)
colorante con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 0,1% y TiO <sub>2</sub>	1,059	1,011	0,987	0,955	0,911	0,900
colorante con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 0,2% y TiO <sub>2</sub>	1,536	1,476	1,310	1,147	0,811	0,789
colorante con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 0,4% y TiO <sub>2</sub>	1,503	1,452	1,379	1,185	0,911	0,810

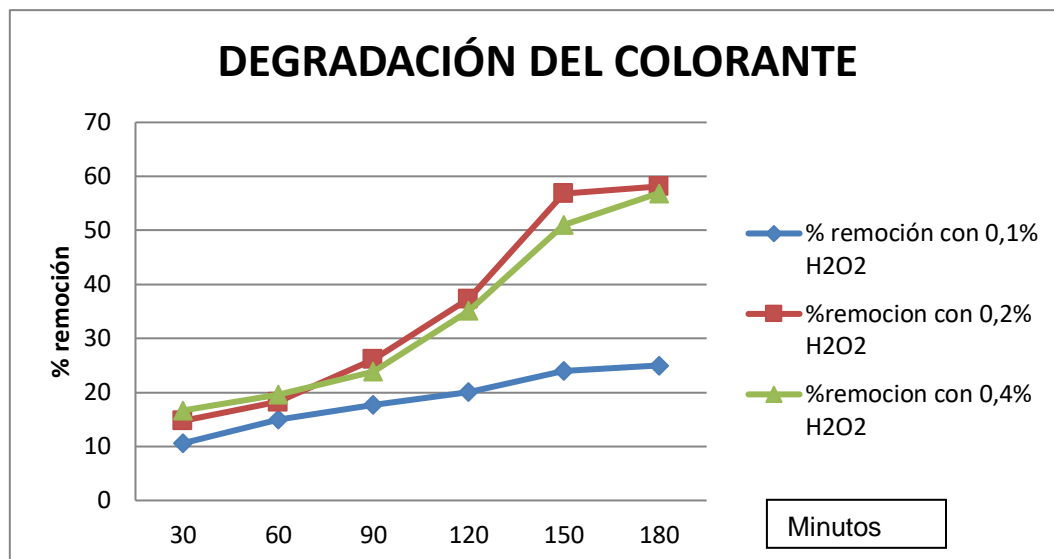
*Fuente: Elaboración propia*

Se midió la absorbancia del peróxido (0,1%, 0,2% y 0,4%) en el espectrofotómetro a diferentes tiempos de 30 a 180 minutos.

**Tabla 7: Remoción del colorante por la oxidación (%)**

muestra	30 min	60 min	90min	120 min	150 min	180 min
colorante con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 0,1% y TiO <sub>2</sub>	10,6	15	17,17	20,1	24	25
colorante con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 0,2% y TiO <sub>2</sub>	14,75	18,23	26,14	37,34	56,87	58,14
colorante con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 0,4% y TiO <sub>2</sub>	16,67	19,63	23,87	35,14	51,05	56,02

*Fuente: Elaboración propia*



**Figura 3: Degradación del colorante**

*Fuente: Elaboración propia*

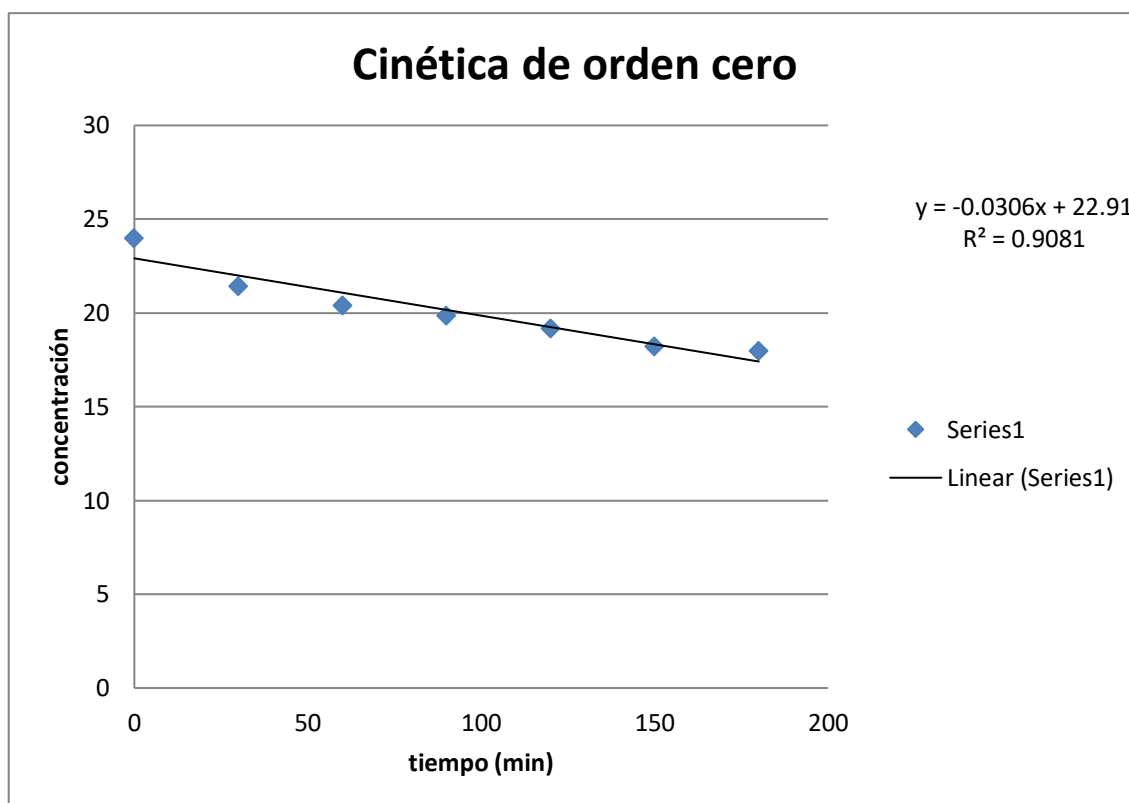
Se observa que la degradación con 0,2% y 0,4% de  $H_2O_2$ , son los de mayor remoción del colorante.

**Tabla 8: Determinación del orden de la cinética de degradación del colorante azoico**

tiempo (min)	cc (mg/L)	Ln (cc)	1/cc
0	24	3.17805383	0.31465798
30	21.44	3.06525834	0.32623678
60	20.4	3.0155349	0.33161613
90	19.88	2.9897142	0.33448013
120	19.18	2.95386807	0.33853915
150	18.23	2.90306859	0.3444631
180	17.99	2.88981605	0.34604279

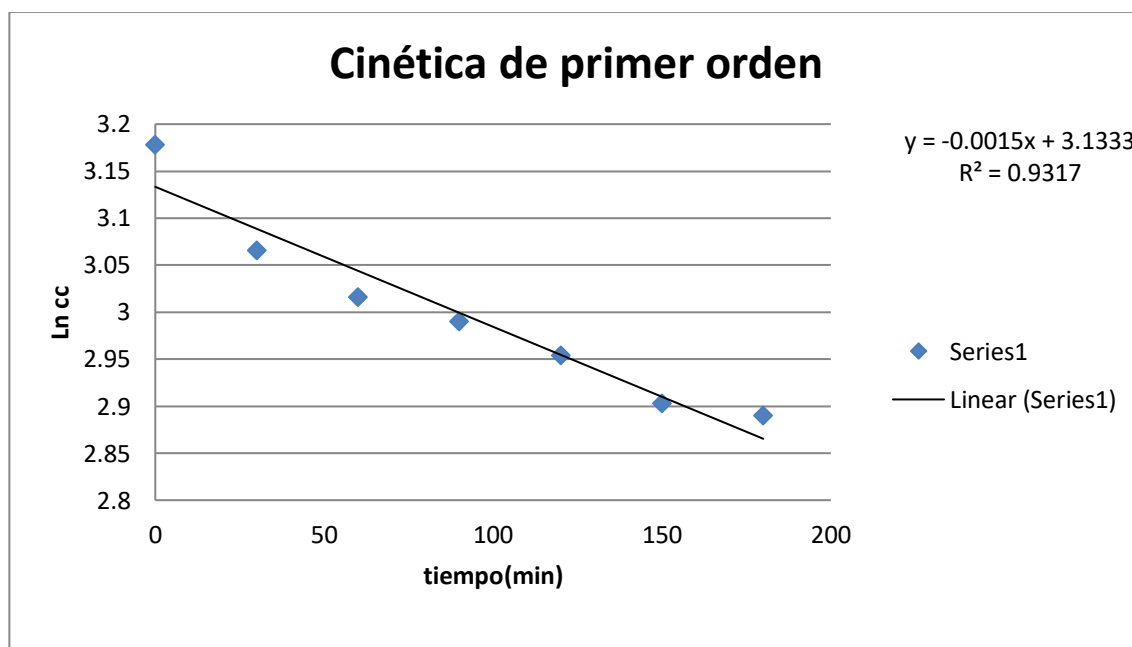
*Fuente: Elaboración propia*

Para determinar la cinética de degradación del colorante azoico es necesario determinar el logaritmo neperiano y la inversa de la concentración del colorante.



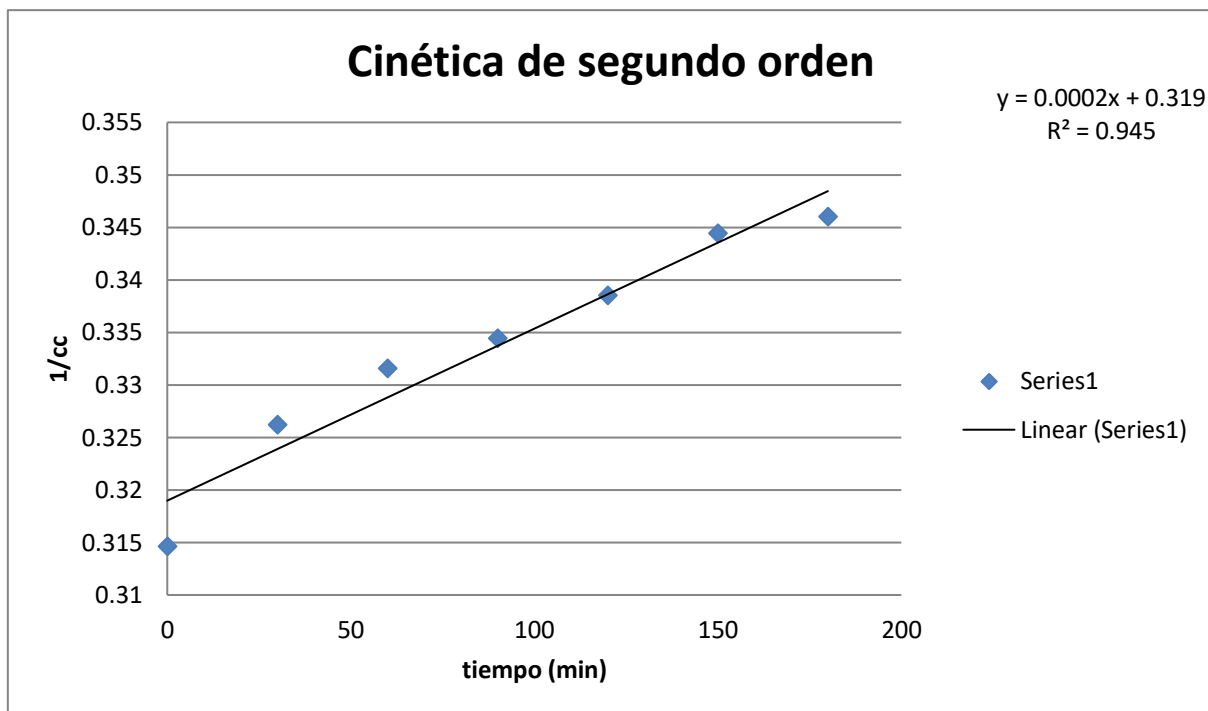
**Figura 4: Cinética de orden cero**

*Fuente: Elaboración propia*



**Figura 5: Cinética de primer orden**

*Fuente: Elaboración propia*



**Figura 6: Cinética de segundo orden**

*Fuente: Elaboración propia*

Se observa que la degradación del colorante amarillo ocaso por fotocátalisis homogénea con  $H_2O_2$  y  $TiO_2$ , sigue un cinética de segundo orden, con un  $R^2 = 0,945$

#### 4.1.3 Determinación de compuestos fenólicos en el alga

##### Determinación del tamaño de partícula:

El tamaño de la partícula promedio fue de 200  $\mu\text{m}$

##### Determinación de actividad de agua ( $A_w$ ):

El  $a_w = 0,596$

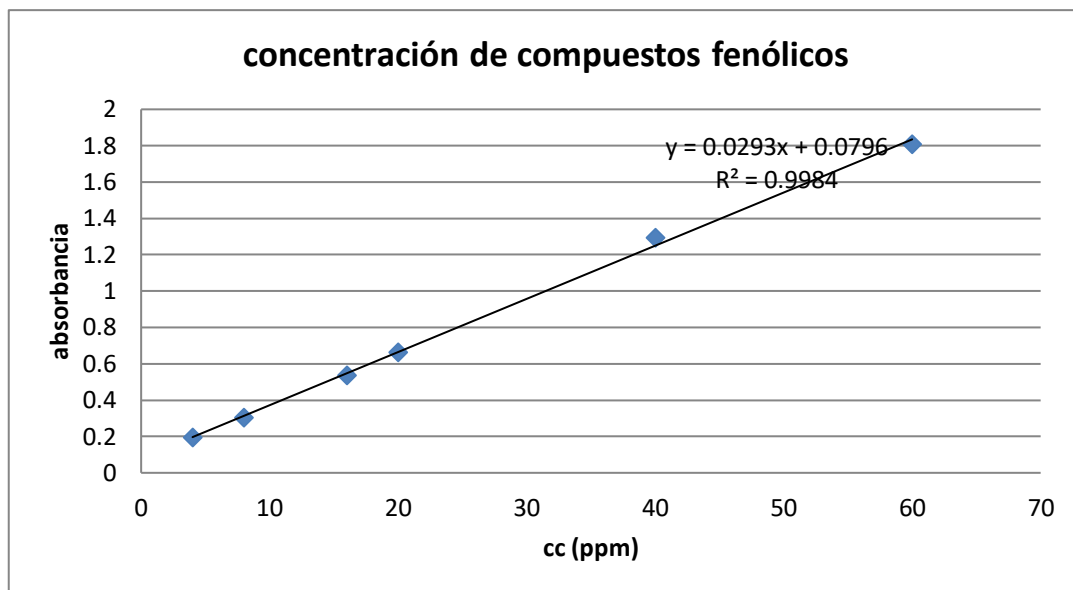
#### Determinación de compuestos fenólicos en las algas

Tabla 9: Elaboración de la curva de calibración: ácido gálico

patrón	cc (ppm)	A
1	4	0,197
2	8	0,305
3	16	0,536
4	20	0,665
5	40	1,296
6	60	1,808

*Fuente: Elaboración propia*

Se escogió como patrón al ácido gálico, para realizar la curva de calibración de los compuestos fenólicos, luego con la curva se determinó la concentración de compuestos fenólicos totales del alga.



**Figura 7: curva de calibración del ácido gálico**

*Fuente: Elaboración propia*

A 765nm, la absorbancia de la muestra fue  $A = 0,568$

De la ecuación:  $y = 0,0293 X + 0,0796$

$X = 16,69 \text{ mg/L}$

$X = 2,359 \times 5 = \mathbf{83,34 \text{ mg/L. de polifenoles totales en algas}}$

Se calculó el porcentaje de compuestos fenólicos totales de la muestra utilizando las siguientes ecuaciones:

$$Z = X/W * 100$$

Dónde:

$X$  = mg de compuestos fenólicos en mg/L de solución acuosa

$Z$  = Porcentaje de compuestos fenólicos en el extracto

$W$  = mg /L de extracto en solución acuosa.

De la muestra se pesó 0,05g en 5mL, y luego se diluyó 1 en 5mL.

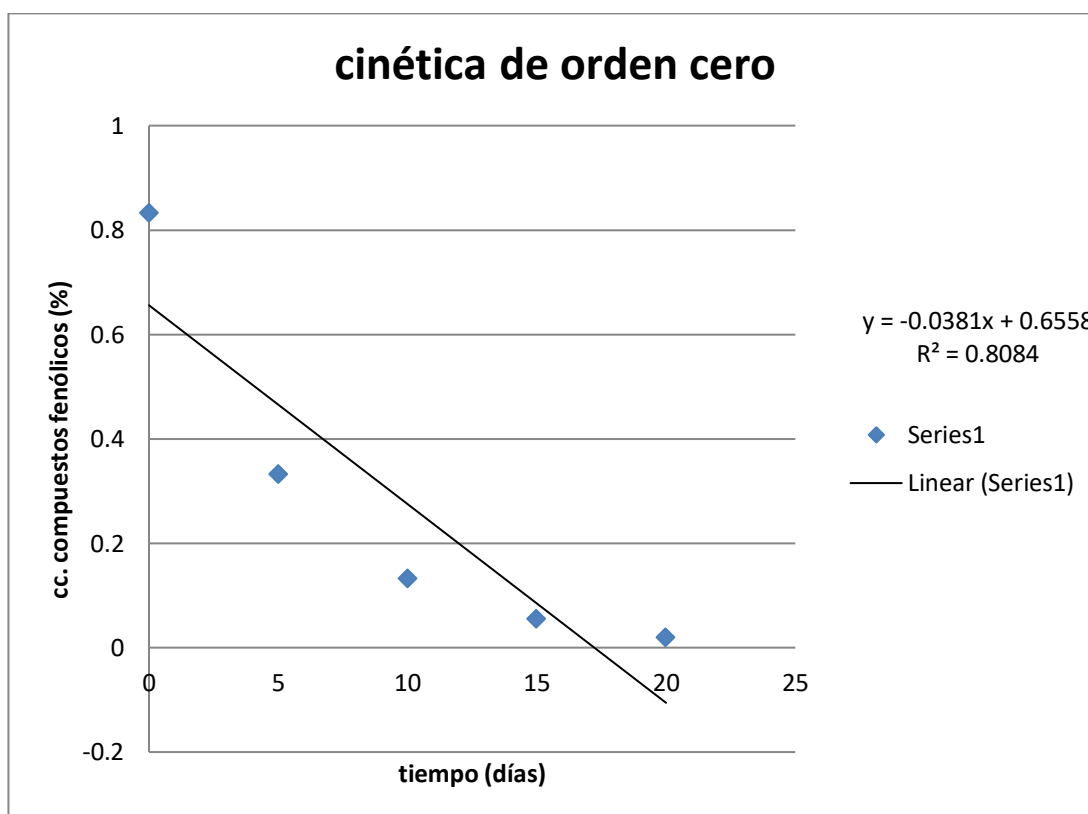
$$Z = 83,34/10\ 000 * 100 = 0,8334\%$$

**Someter el alga al colorante y determinar los compuestos fenólicos en el alga tratada con colorante y el alga tratada con colorante degradado**

**Tabla 10 : Compuestos fenólicos del alga tratada con colorante**

día	(%)	Ln cc	1/cc
0	0.8334	-0.182	1.19990401
5	0.333	-1.100	3.003003
10	0.133	-2.017	7.51879699
15	0.056	-2.882	17.8571429
20	0.002	-3.912	50

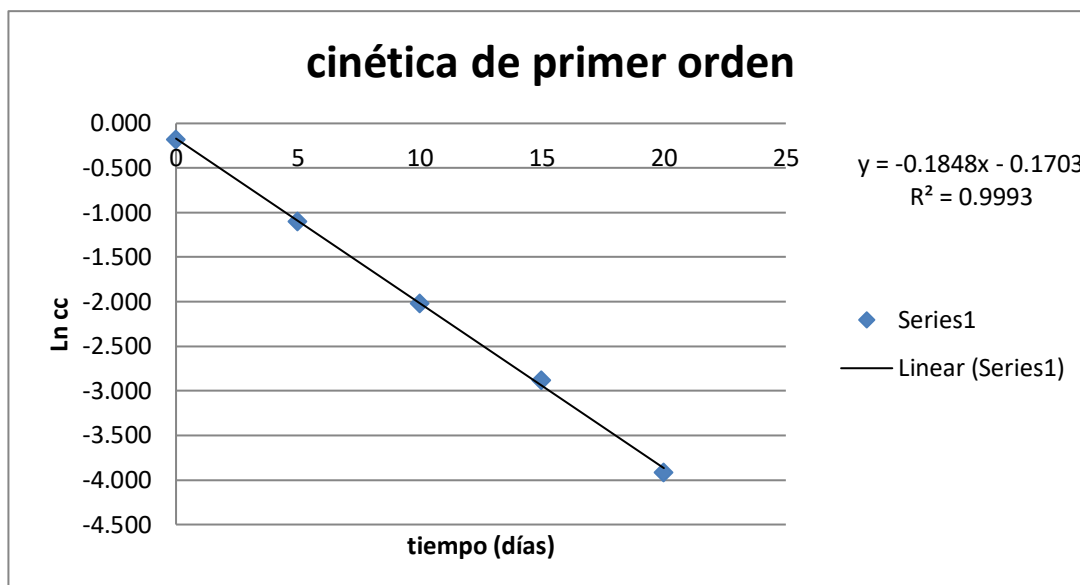
*Fuente: Elaboración propia*



**Figura 8 : Cinética de orden cero en el alga.**

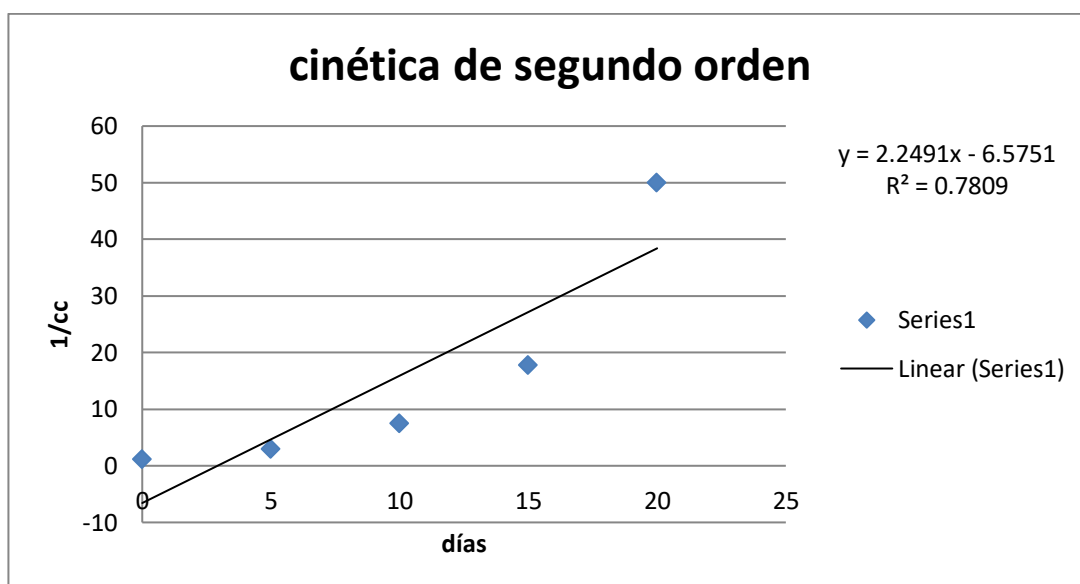
*Fuente: Elaboración propia*





**Figura 9 : Cinética de primer orden en el alga**

*Fuente: Elaboración propia*



**Figura 10: Cinética de segundo orden en el alga**

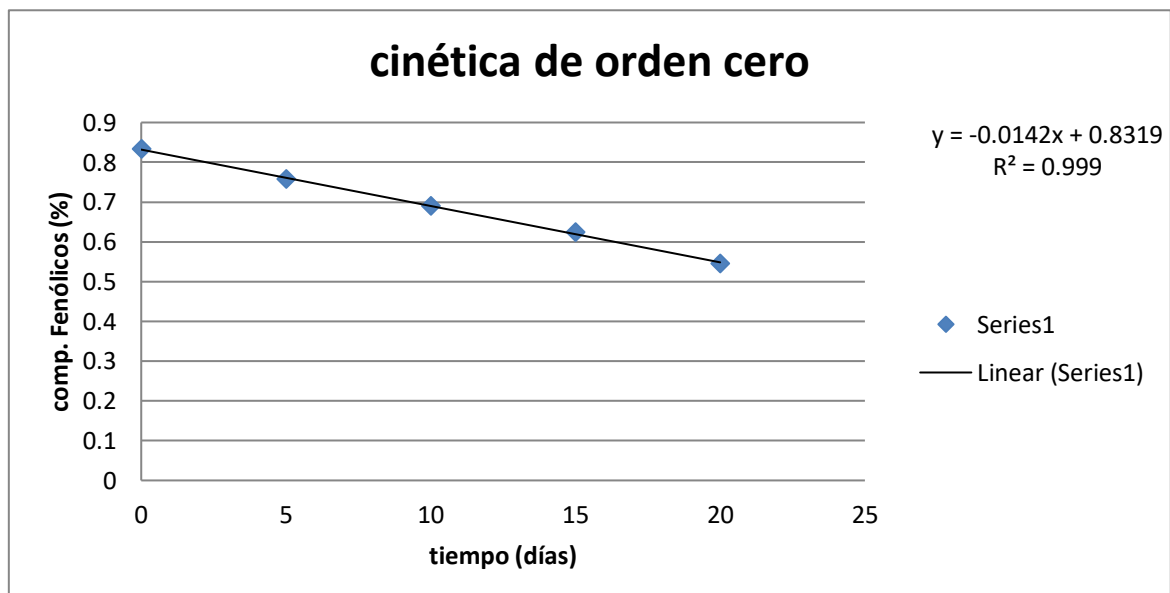
*Fuente: Elaboración propia*

Se observa que la degradación de los compuestos fenólicos totales del alga sometido al colorante, sigue un cinética de primer orden, con un  $R^2 = 0.9993$

**Tabla 11 : Compuestos fenólicos del alga tratada con colorante degradado**

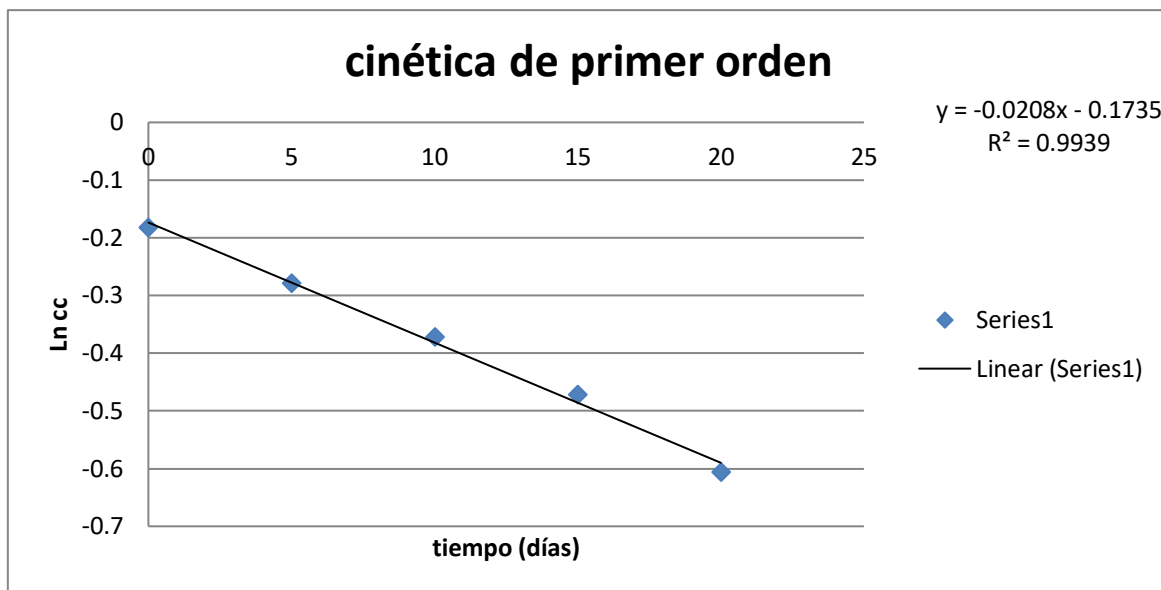
día	(%)	Ln cc	1/cc
0	0.8334	-	1.19990401
5	0.7574	-	1.32030631
10	0.6899	-	1.44948543
15	0.6243	-	1.60179401
20	0.5455	-	1.83318057

*Fuente: Elaboración propia*



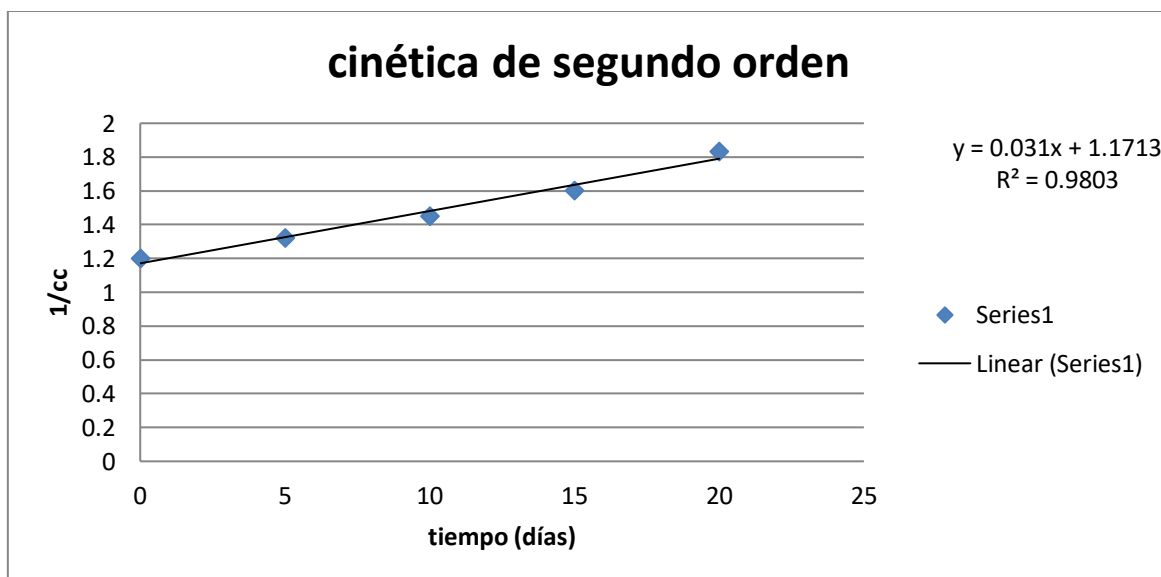
**Figura 11: Cinética de orden cero del alga tratada con colorante degradado**

*Fuente: Elaboración propia*



**Figura 12: Cinética de primer orden del alga tratada con colorante degradado**

*Fuente: Elaboración propia*



**Figura 13: Cinética de segundo orden del alga tratada con colorante degradado**

*Fuente: Elaboración propia*

Se observa que la degradación de los compuestos fenólicos totales del alga sometido al colorante degradado sigue un cinética de orden cero, con un  $R^2 = 0.999$

## 4.2 Discusión de resultados

En nuestra investigación, se realizó un barrido en el espectrofotómetro UV-Vis en donde se encontró la longitud de onda de mayor absorbancia  $\lambda = 480\text{nm}$  (**tabla 4**).

Se realizó la curva de calibración para el colorante amarillo ocaso, con la finalidad de obtener una concentración de partida, para iniciar la degradación del colorante, asumiendo que las industrias vierten al medio acuático estas concentraciones como parte de sus operaciones de limpieza de tanques mezcladores (**tabla 5**). Se encontró que la concentración de una bebida comercial fue 23,59 mg/L, medidos a una longitud de onda máxima de absorción de 480nm, los resultados coinciden con los publicados por Saucedo C, Trigoso A. (2013)<sup>10</sup>, debido que estos investigadores identificaron colorantes azoicos en bebidas que se expenden en la ciudad de Trujillo, además los autores encontraron que dichos colorantes tienen una concentración similar a nuestros resultados, que se determinó a una longitud de absorbancia igual.

En nuestra investigación de fotocatálisis homogénea al utilizar 0,4% de  $\text{H}_2\text{O}_2$  nos dan como resultado 56,02% de remoción del colorante y al aplicar 0,2% de  $\text{H}_2\text{O}_2$  nos da un resultado similar de 58,14% de remoción del colorante (**Tabla 6,7**) así mismo se observa en la figura 3, que la degradación, después de 3 horas, para ambos tratamientos sigue una tendencia constante, esto indicaría que la reacción de degradación, tiene un límite de oxidación, debido posiblemente a otros factores que intervengan como el volumen utilizado o profundidad del envase. Por otro lado, los resultados se encuentran próximos a los publicados por Alegre Y. y Rosales A. (2017)<sup>29</sup>, en su investigación concluyó que el porcentaje (%) de oxidación del color en la fotocatálisis homogénea y heterogénea son 90,62%, y 60,85%, respectivamente en un tiempo de 4,85 horas. Las diferencias superiores pero mínimas que se logró en nuestro caso, se debe posiblemente al mantener el tratamiento con un pH=3. Asimismo, autores como De la cruz Solano, H. Y Valdez Vélchez, M. (2016), manifiestan que el pH es de importancia para la degradación de un colorante, debiendo controlarse y considerarlo como un factor para la

degradación requerida. Por otro lado, GilPavas E, Medina J, Dobrosz-Gómez I y Gómez M. (2016), utilizó el proceso Fenton heterogéneo donde demostró que es posible degradar el 100% de los colorantes azoicos en 150 minutos de reacción. Utilizó condiciones óptimas como concentración inicial del colorante en 881 mg/Litro, pH=5, y concentración de  $\text{H}_2\text{O}_2 = 0,86 \text{ ml/L}$ , y finalmente Alarcón Rodas, C. (2014) en su trabajo de oxidación avanzada con la ayuda del  $\text{TiO}_2$  en presencia de radiación UV, determinó la remoción de colorante de las aguas residuales en 89.75 porciento con radiación UV y sin radiación UV una remoción del 78%. En nuestra investigación se logró las mejores condiciones de degradación a un pH igual a 3.

En nuestra investigación se encontró que la degradación del colorante sigue una cinética de segundo orden, esto nos indica que la degradación del colorante amarillo ocaso va a depender de la constante cinética de degradación del colorante y de la concentración del peróxido (**tabla 8**). Los resultados coinciden con Molina Aguirre, G. y Sandoval Pauker, C. (2016), en su investigación de degradación fotocatalítica de compuestos azoicos con el uso de ( $\text{TiO}_2$ ) y óxido de zinc ( $\text{ZnO}$ ), estudió la cinética de oxidación a los que se encontró una reacción de pseudo-primer orden. No se encontraron factores que influyan como el soporte sobre la constante cinética, con el uso de los dos catalizadores, cabe mencionar que la cinética de primer orden depende de la constante de degradación del color, mientras que la de pseudo-primer orden depende de la constante de degradación de color y de la constante del  $\text{H}_2\text{O}_2$ , pero en menor medida.

En la (**tabla 9**) realizamos la cuantificación de los compuestos fenólicos presentes en nuestra alga fresca la cual fue 0,8384% de compuestos fenólicos.

La degradación de los compuestos fenólicos totales del alga parda al haber sido sometido al colorante amarillo ocaso, por un periodo de 20 días, sigue una cinética de degradación de primer orden, eso nos indica que dependen de la constante de degradación de colorante (**tabla 10**). Por otro lado, la degradación de los compuestos fenólicos totales del alga parda al haber sido

sometido al colorante amarillo ocase degradado por fotocátalisis homogénea, por un periodo de 20 días, sigue una cinética de degradación de orden cero (**Tabla 11**). Esto nos indica que la velocidad de degradación de los compuestos fenólicos es constante, esta diferencia entre los compuestos fenólicos de las algas sometida al colorante y al colorante degradado, se debe a, que el colorante tratado con fotocátalisis homogénea presente menor concentración de colorante, y de esta forma su efecto sobre los compuestos fenólicos es menor. Estos aportes se relacionan con lo publicado por Barrios Ziolo, L., Gaviria Restrepo, L., Agudelo, E. y Cardona Gallo, S. (2016), donde correlacionaron el efecto del % de sólidos totales y la longitud de onda de absorción de diferentes compuestos azoicos sobre el *Selenastrum Capricornutum*; los modelos de regresión obtenidos permitieron predecir en un 94 y 99% los efectos anteriormente mencionados. Encontrando una degradación similar, por otro lado, la prueba de toxicidad lo evaluó con el modelo de toxicidad de *Daphnia magna*. Los colorantes son considerados como compuestos que pueden presentar características toxicológicas, ya que tiene la capacidad de bloquear el paso de la luz en el medio acuoso, además hay la presencia de toxicidad relacionada a la molécula azoica.

## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 Conclusiones**

1. Se determinó que la degradación del colorante amarillo ocaso (SIN 110) es posible empleando fotocátalisis homogénea con luz ultravioleta,  $\text{H}_2\text{O}_2$  y  $\text{TiO}_2$ , logrando alto porcentaje de remoción del colorante en un corto tiempo.
2. Se determinó que la aplicación de luz ultravioleta con  $\text{H}_2\text{O}_2$  y  $\text{TiO}_2$  sobre el colorante amarillo ocaso (SIN 110), lo degrada y esto influye en la protección de algas pardas (*Macrocystis pyrifera*) marinas, impidiendo de esta manera la reducción de sus metabolitos secundarios como los compuestos fenólicos.
3. Se determinó que los compuestos fenólicos del alga sometidos al colorante amarillo ocaso sigue una cinética de degradación de primer orden y los compuestos fenólicos totales del alga sometido al colorante degradado, sigue una cinética de degradación de orden cero.

### **5.2 Recomendaciones**

1. Complementar los estudios de oxidación avanzada en los diversos colorantes azoicos utilizados en la industria farmacéutica y alimentaria.
2. Realizar estudios más profundos de oxidación avanzada para la degradación de xenobióticos y contaminantes emergentes de la industria farmacéutica, que se liberan al medio ambiente.

## REFERENCIAS

1. Santillán F, Maza I. Remoción de colorantes azoicos rojo allura (rojo 40) mediante el uso de perlas de quitosano magnetizadas en medio acuoso. *rev soc quím Perú*; 2018. 84 p.
2. Martinez-Huitle C, Brillas E. Decontamination of wastewaters containing synthetic organic dyes by electrochemical methods: a general review. *applied catalysis b: environmental*. Vol.87, No. 4-5; 2009. 105-145 p.
3. Acosta J, Mateo L, Mendoza C. An updated list of marine green algae (Chlorophyta, Ulvophyceae) from the Biosphere Reserve of Sian Kaan, Quintana Roo, Mexico. *Check List*; 2016.
4. Romero J, Jenny M. Estudio de la degradación de colorantes azoicos mediante la combinación de un proceso foto-fenton asistido con ferrioxalato y un proceso biológico anaerobio. [tesis de titulación]. Quito: Escuela Politécnica Nacional; 2016.
5. Arango A, Garcés G, Luis F. Remoción del colorante azoico amaranto de soluciones acuosas mediante electrocoagulación. *Revista lasallista de investigación*. 2007; Vol. Num.2; 2009. 31-38 p.
6. Ensuncho A, Milanés N, Robles J. Remoción del Colorante Rojo Allura en Solución Acuosa utilizando Carbones Activados obtenidos de Desechos Agrícolas. *Información Tecnológica*; 2015.
7. Larios-Meño J, González C, Morales Y. Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber y hacer*; 2015. Vol.2 (2):09-25 p.
8. SUNASS. Estudio Diagnóstico Situacional de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en las EPS del Perú y Propuestas de Solución. Lima: SUNASS. Recuperado de: [http://www.proagua.org.pe/files/de62b65581b727d66847f48aa52fbbfd/Libro\\_PTAR.pdf](http://www.proagua.org.pe/files/de62b65581b727d66847f48aa52fbbfd/Libro_PTAR.pdf). 2008
9. Zuleta A. Evaluación del proceso de degradación de un colorante sintético tipo azo mediante un sistema de fermentación en estado sólido. [Tesis inédita de Maestría]. Universidad Nacional de Colombia; 2013.



10. Saucedo C, Lourdes M, Trigoso A. "Identificación de colorantes azoicos en bebidas refrescantes expendidas en mercados Mayorista y Hermelinda de la ciudad de Trujillo, mayo – junio de 2013". Universidad Nacional de Trujillo, Perú; 2013.
11. Ensuncho A, López, Jesús M, Robles J. Reactividad Química de los Azo Colorantes Amarillo Anaranjado y Rojo Allura mediante Descriptores Globales y la Función de Fukui. *Información Tecnológica*; 2012. Vol.23(6): 3-12 p.
12. Molina G, Sandoval C. Estudio de la degradación fotocatalítica de colorantes azoicos con el uso de dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) y óxido de zinc (ZnO) inmovilizados en soportes poliméricos. [tesis doctoral en Internet]. Quito: Escuela politécnica nacional; 2016 [citada 01 ene 2018]. 148 p. Disponible en: <http://hdl.handle.net/109>
13. GilPavas E, Medina J, Dobrosz-Gómez I, Gómez M. Degradación de Colorante Amarillo 12 de Aguas Residuales Industriales utilizando Hierro Cero Valente, Peróxido de Hidrógeno y Radiación Ultravioleta. *Información Tecnológica*; 2016. Vol.27 (3):23-34.
14. Ayarza J. Extracción y caracterización de alginato de sodio procedente del alga parda *macrocystis* sp. [Tesis de titulación]. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú; 2015.
15. Dominguez H. Functional ingredients from algae for foods and nutraceuticals, Ed. Woohed Publishing Series in Food, Technology and Nutrition; 2013.1-15 p.
16. IMARPE [Internet]. Perú; [Consultado 01 de Marzo del 2018]. Disponible en [http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/index.php?id\\_seccion=l013904000000000000000000](http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/index.php?id_seccion=l013904000000000000000000)
17. Echavarría B, Franco A, Martínez A. Evaluación de la actividad antioxidante y determinación del contenido de compuestos fenólicos en extractos de macroalgas del caribe colombiano. *Vitae, revista de la facultad de química farmacéutica*; 2009. 16 (1) p.
18. Gutiérrez R, González K, Hernández Y, Acosta Y, Marrero D. Algas marinas, fuente potencial de macronutrientes. *Revista investigaciones marinas*; 2017.16-28 p.

19. Nevárez-Martínez M, Espinoza-Montero P, Quiroz-Chávez F, Ohtani B. Fotocatálisis: inicio, actualidad y perspectivas a través del TiO<sub>2</sub>. Avances en Química; 2017. 45-59 p.
20. Omo A, Fitzpatrick P. Heterogeneous photocatalysis: Recent advances and applications. Catalysts Journal, 3(1), 189–218. doi:10.3390/catal3010189; 2013.
21. Akpan G, Hameed H. Parameters affecting the photocatalytic degradation of dyes using TiO<sub>2</sub>-based photocatalysts: A review. Journal of Hazardous Materials; 2009. 520-529 p.
22. Blanco J, Malato S, Peral J, Sánchez B, Cardona I. Diseño de reactores para fotocatálisis: Evaluación comparativa de las distintas opciones. Boletín Ambiental Estructplan; 2015. 243–266 p. Recuperado de <http://goo.gl/JLthfq>.
23. Quiñónez A. Identificación y cuantificación de colorantes artificiales: eritrosina fd& c rojo no. 3 (45430), amaranto fd& c rojo no. 2 (16184) y tartrazina fd& c amarillo no.5 (19140), en conservas de frutas (compotas) importadas de Sudamérica y distribuidas en Guatemala. [Tesis de titulación]. Guatemala: Universidad de san Carlos de Guatemala; 2008.
24. Mendoza E, Calco C. Bromatología. Composición y propiedades de los alimentos. 1<sup>ra</sup> ed. México: Mc Graw Hill; 2010.
25. Bafana A, Saravana S, Chakrabarti T. Azo dyes: Past, present and future. Environmental Review, 19(1), 350–370. doi: 10.1139/A11-018; 2011.
26. Rodríguez J. Determinación de polifenoles, actividad antioxidante, antielastasa, anticlagenasa y elaboración de una fórmula dermocosmética a partir del extracto hidroalcohólico de Eisenia cokeri M.A. Howe. [Tesis doctoral]. Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2017.
27. Serpil S, Servet G. Propiedades Físicas de los Alimentos. España: Acirbia; 2009.
28. Chinchay C. Química de Alimentos. 1<sup>ra</sup> ed. Perú: Universidad Nacional del Callao. Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos; 2017.
29. Alegre Y, Rosales S. Influencia del tipo de fotocatálisis y tiempo en el tratamiento de aguas residuales textiles. [Tesis de titulación]. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú; 2017.
30. De la cruz H, Valdez M. degradación del azul de metileno, del efluente de la industria textil grupo grande SAC, mediante oxidación combinada

- ozono/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. [Tesis de titulación]. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú; 2016.
31. Alarcón C. Tratamiento de Aguas Residuales provenientes de la fase de teñido de la curtiembre mediante un sistema fisicoquímico basado en la oxidación avanzada con la ayuda del semiconductor TiO<sub>2</sub> en presencia de luz UV. [Tesis de titulación]. Ecuador: Universidad San Francisco de Quito; 2014.
  32. Barrios L, Gaviria L, Agudelo E, Cardona S. Estudio de la toxicidad asociada al vertimiento de aguas residuales con presencia de colorantes y pigmentos en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Revista EIA, ISSN 1794-1237; 2016. 61-74 p.
  33. Arizaca L, Caballero C. Aplicación de modelos matemáticos en el tratamiento de efluentes provenientes de la industria utilizando el proceso de oxidación avanzada fenton. [tesis de Titulación]. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín; 2015.
  34. Argueta k. Identificación y cuantificación de los colorantes artificiales: amarillo ocaso fcf (15,985), rojo allura fd& c rojo no. 40 (16,035) y tartrazina fd & c amarillo no.5 (19,140) en alimentos tipo snack's a base de cereal de maíz con queso, obtenidos a partir de un proceso expandible y producidos en Guatemala. [tesis de titulación]. Guatemala: Universidad de san Carlos de Guatemala; 2014.
  35. Hernández R, Collado C, Baptista P. Metodología de la Investigación. 6ta ed. México: Mc Graw-Hill; 2014. 66 p.
  36. Donoso M. Eliminación de colorantes alimentarios en disolución acuosa mediante procesos químicos y electroquímicos de oxidación avanzada. [tesis doctoral]. Badajoz: Universidad de Extremadura; 2016.
  37. Badui S. Química de los Alimentos. 4<sup>ta</sup> ed. México: Pearson Educación; 2006.
  38. Belitz H, Grosch W, Schieberle P. Food Chemistry. 4<sup>ta</sup> ed. Berlin: Springer; 2009.
  39. Schmidt H. Avances en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Chile: Alfabeta impresiones; 2001.
  40. Bailón R. Procesamiento de Hortalizas. 1<sup>ra</sup> ed. Perú: Universidad Nacional del Callao. Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos. Instituto de Investigación; 2006.




41. Kuklinski C. Nutrición y Bromatología. 1<sup>ra</sup> ed. España: Ed. Omega; 2010.
42. Diesen V. Heterogeneous  $\text{TiO}_2$  photocatalysis fundamental chemical aspects and effects of solid phase alterations. [Tesis doctoral]. Recuperado de Repositorio digital de KTH Royal Institute of Technology; 2013.
43. Donadelli J. Sistemas basados en el empleo de peróxido de hidrógeno para el tratamiento de efluentes textiles. [Tesis de doctoral]. Argentina: Universidad Nacional de la Plata; 2018.

# ANEXOS

## Anexo 1: Matriz de consistencia

FOTOCATALISIS HOMOGÉNEA EN EL COLORANTE AMARILLO OCASO (SIN 110) PARA LA PROTECCIÓN DE LAS ALGAS PARDAS ( <i>Macrocystis pyrifera</i> ) DEL MAR						
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES		METODOLOGÍA	INSTRUMENTOS
GENERAL	GENERAL	GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADORES	TIPO	Ficha de observación participante
¿Cuál es la protección de las algas pardas ( <i>Macrocystis pyrifera</i> ) con la aplicación de la fotocatalisis homogénea en el colorante amarillo ocaso (SIN 110)?	Determinar la protección de las algas pardas ( <i>Macrocystis pyrifera</i> ) con la aplicación de la fotocatalisis homogénea en el colorante amarillo ocaso (SIN 110).	La aplicación de la fotocatalisis homogénea del colorante amarillo ocaso (SIN 110) si influye en la protección de algas pardas ( <i>Macrocystis pyrifera</i> ) del mar.	Fotocatalisis homogénea en el colorante amarillo ocaso (SIN 110).	concentración de $H_2O_2$ y 0,1%, 0,2% y 0,4% (v/v)	Experimental, de corte transversal.	
ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADORES	NIVEL	POBLACIÓN Y MUESTRA
1. ¿Es posible degradar el colorante amarillo ocaso (SIN 110) empleando fotocatalisis homogénea con luz ultravioleta, $H_2O_2$ y $TiO_2$ ?	1. Evaluar la degradación del colorante amarillo ocaso (SIN 110) empleando fotocatalisis homogénea con luz ultravioleta, $H_2O_2$ y $TiO_2$	1. La aplicación de luz ultravioleta, $H_2O_2$ y $TiO_2$ en el colorante amarillo ocaso (SIN 110) si influye la degradación del colorante amarillo ocaso (SIN 110)	Protección de las algas pardas ( <i>Macrocystis pyrifera</i> ) del mar.	Concentración de compuestos fenólicos totales	Cuantitativo básico	
2. ¿La aplicación de luz ultravioleta, $H_2O_2$ y $TiO_2$ en el colorante amarillo ocaso (SIN 110) influye en la protección de las algas pardas ( <i>Macrocystis pyrifera</i> ) del mar?	2. Determinar si la aplicación de luz ultravioleta, $H_2O_2$ y $TiO_2$ en el colorante amarillo ocaso (SIN 110) influye en la protección de algas pardas ( <i>Macrocystis pyrifera</i> ) del mar.	2. La aplicación de luz ultravioleta, $H_2O_2$ y $TiO_2$ en el colorante amarillo ocaso (SIN 110) si influye en la protección de algas pardas ( <i>Macrocystis pyrifera</i> ) del mar.			DISEÑO	
3. ¿La degradación de los compuestos fenólicos del alga ( <i>Macrocystis</i> sp) presenta un orden de degradación de cinética?	3. Determinar la cinética de degradación de los compuestos fenólicos del alga tratada con colorante.	3. El colorante amarillo ocaso (SIN 110) degrada los compuestos fenólicos del alga en un determinado orden de cinética.			Experimental	

## Anexo 2: Constancia de clasificación taxonómica.

  **UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**  
Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO  
**MUSEO DE HISTORIA NATURAL** 

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

**CONSTANCIA N° 169-USM-2018**

EL JEFE DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM) DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, DEJA CONSTANCIA QUE:

La muestra vegetal (talo algas) recibida de Ena Maruja HOYOS TAPIA y Vanessa VILLALBA CANCHUMANTA; alumnas de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Bioquímica de la Universidad Inca Garcilaso de la Vega, ha sido estudiada y clasificada como: ***Macrocystis pyrifera*** (Linnaeus) C. Agardh y tiene la siguiente posición taxonómica, según el Sistema de Clasificación de Guiry, M.D & Guiry, G.M. 2018, Algae Base.

**DIVISION: OCHROPHYTA**

**CLASE: PHAEOPHYCEAE**

**SUBCLASE: FUCOPHYCIDAE**

**ORDEN: LAMINARIALES**

**FAMILIA: LAMINARIACEAE**


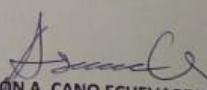
**GENERO: *Macrocystis***

**ESPECIE: *Macrocystis pyrifera*** (Linnaeus) C. Agardh

Nombre vulgar: Algas pardas  
Determinado por Blgo. Mario Benavente Palacios.

Se extiende la presente constancia a solicitud de la parte interesada, para los fines que considere pertinente.

Lima, 08 de mayo de 2018

   
Mag. ASUNCIÓN A. CANO ECHEVARRÍA  
JEFE DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM)

ACE/ddb

Av. Armadillo 1256, Jesús María  
Apdo. 14-0434, Lima 14, Perú

Teléfono:  
619-7000 anexo 5701, 5703, 5704

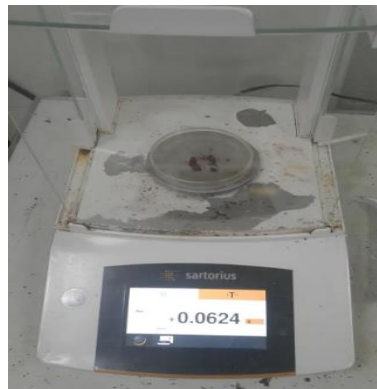
E-mail: [museohn@unmsm.edu.pe](mailto:museohn@unmsm.edu.pe)  
<http://museohn.unmsm.edu.pe>

**Anexo 3: Determinación de concentración del colorante amarillo ocaso de una bebida comercial.**

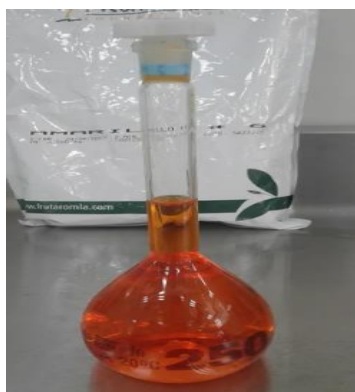
A



B



C



D



E



F



A	Colorante amarillo ocaso (SIN 110).
B	Pesada del colorante.
C	Preparación del solución del colorante 0,025%.
D	Preparación de soluciones estándar del colorante.
E	Lectura en espectrofotómetro.
F	Lectura de absorción de una muestra de bebida.

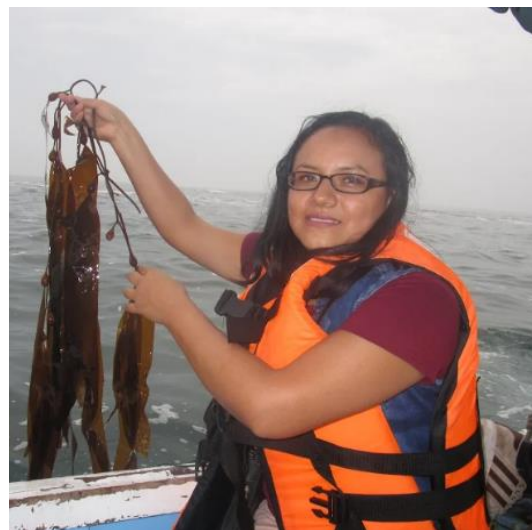


#### Anexo 4: Recolección del alga.

A



B



C



A	Recolección del alga de la playa de Pucusana.
B	Recolección del alga de la playa de Pucusana.
C	Alga prensada.



**Anexo 5: Extracto de compuestos fenólicos.**

A



B



C



D



E



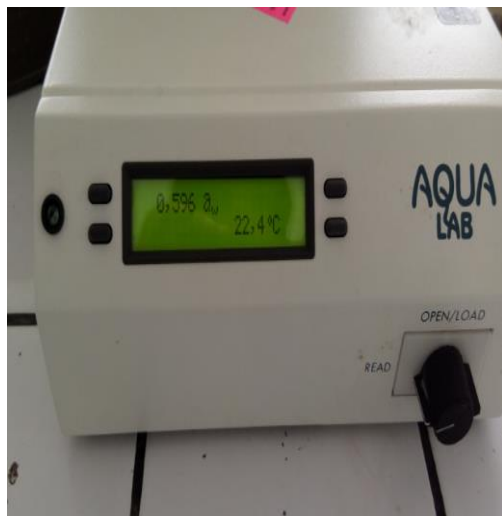
F



A	Alga límpida.
B	Molino.
C	Molienda del alga.
D	Pesada de muestra.
E	Juego de tamiz.
F	Muestra en el juego de tamiz.

**Anexo 6: Determinación de  $A_w$ .**

A



B



A	Medición de actividad de agua.
B	Muestra deshidratada.

## Anexo 7: Determinación de compuestos fenólicos.

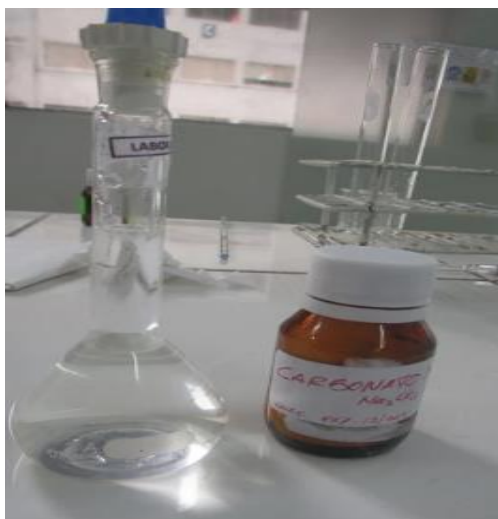
A



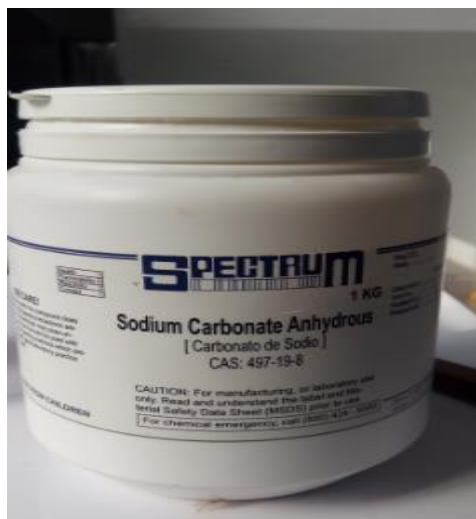
B



C

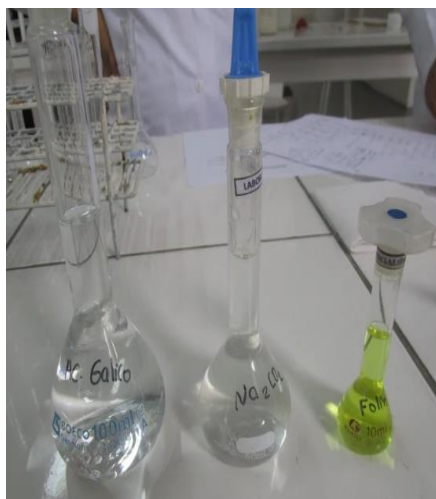


D



A	Preparación de reactivo de Folin Ciocalteu.
B	preparación del estándar del reactivo de Folin C.
C	Preparación de solución de carbonato de sodio.
D	Carbonato de sodio.

A



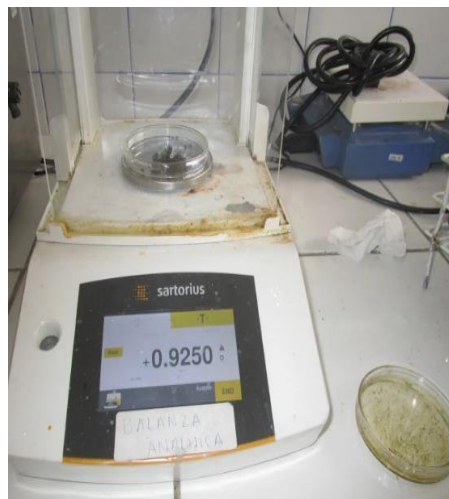
B



C



D

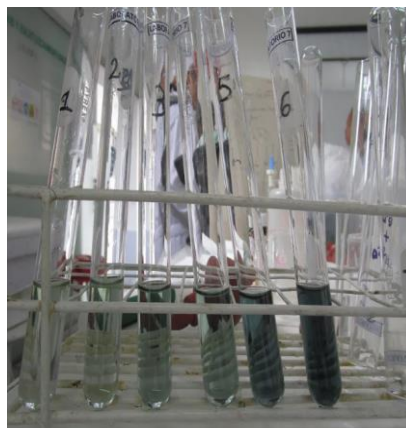


A	Soluciones de carbonato y Folin C.
B	Muestra con reactivo de Folin.
C	Homogenizado de muestra.
D	Pesado de muestra.

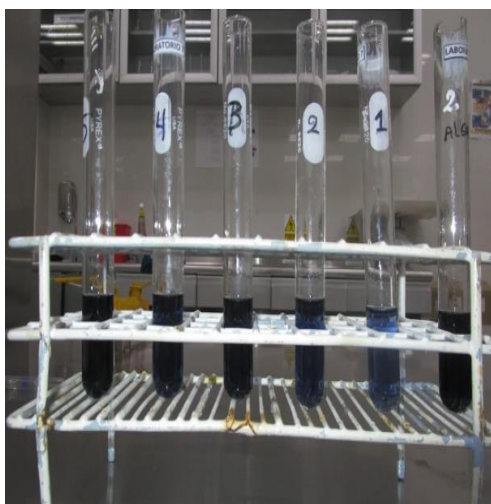
A



B



C



A	Muestra con Folin en baño María.
B	Extracto del alga con reactivos.
C	Muestra después del tratamiento térmico.



### **Anexo 8: Tratamiento del alga con colorante**

A



B



C



A	Preparación de soluciones.
B	Solución de colorante.
C	Sometiendo el alga al colorante.

### Anexo 9: Alga tratada con colorante

A



B



C



A	Alga tratada con colorante.
B	Alga tratada con colorante degradado.
C	Alga almacenada durante 25 días.